

Mionel Mäkijärvi

Nelijalkaisen hahmon riggaaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu
3D-animointi ja -visualisointi
Viestinnän koulutusohjelma
Opinnäytetyö
25.4.2012

Tekijä Otsikko	Mionel Mäkijärvi Nelijalkaisen hahmon riggaaminen
Sivumäärä Aika	43 sivua + 2 liitettä 25.4.2012
Tutkinto	Medianomi AMK
Koulutusohjelma	Viestinnän koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	3D-animointi ja -visualisointi
Ohjaaja(t)	lehtori Jaro Lehtonen
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee nelijalkaisen hahmon riggaamista yleisellä tasolla. Pyrin selvittämään neliraajaisten hahmojen anatomiaa mahdollisimman yleispätevästi ja lajirajat ylittäen. Korostan anatomian tuntemisen tärkeyttä rigiä suunnitellessa ja puntaroin kaksi- ja nelijalkaisten hahmojen rigien eroja sekä yhtäläisyyksiä. Lisäksi pyrin selventämään sitä, miksi rigille on hyvä rakentaa mahdollisimman selkeä käyttöliittymä.</p> <p>Käytännön osuudessa suunnittelen ja toteutan rigin hevoshahmolle, jonka mallinsin Undo Oy:n Ghost Town -animaatiosarjaa varten. Käyn riggaamisprosessin läpi vaihe vaiheelta ja opin yrityksen sekä erehdyksen kautta, miten mikäkin rigin kohta kannattaa loppupeleissä toteuttaa. Käytän riggaamiseen Messiah Studiota, mutta opinnäytetyöni ohjeet eivät ole sidottuja tiettyyn ohjelmaan. Tähtään tässäkin suhteessa yleispätevyyteen.</p> <p>Lopputuloksena on skinnaamista ja animointia vaille valmis rigi, joka on rakennettu käyttäjäystävälliseksi ja helposti ymmärrettäväksi. Kutakin jalkaa saa liikutettua ja käännettyä kahdella yksinkertaisella apupisteellä, ja ne taipuvat oikeista kohdista kuten oikean eläimen jalat. Päälle ja kaulalle esittelen kaksi vaihtoehtoista riggaustapaa, joista voi valita mieleisensä. Lisäksi valmiissa rigissä on erilaisia animointia edesauttavia automaatioita, kuten se, ettei hännänheilautusta tarvitse tehdä käsin.</p> <p>Tutkimuksiani voi käyttää apuna kaikkien nelijalkaisten hahmojen riggaamisessa riippumatta siitä, onko laji olemassa oleva vai itse keksitty. Koska esittelen myös vaihtoehtoisia riggaustapoja, opinnäytetyöni ohjeet eivät ole sidottuja vain hevosia riggaaville. Tutkimusteni tulokset eivät ole ohjelmasidonnaisia, joten niistä on siltäkin kannalta paljon apua. Kaiken kaikkiaan pohdinnoistani on hyötyä kaikille, jotka haluavat oppia lisää nelijalkaisten hahmojen anatomian vaikutuksesta itse rigiin.</p>	
Avainsanat	3D, riggaus, riggaaminen, nelijalkainen, anatomia, hevonen

Author(s) Title	Mionel Mäkijärvi Rigging of a quadruped character
Number of Pages Date	43 pages + 2 appendices 25 April 2012
Degree	Bachelor of Arts
Degree Programme	Media
Specialisation option	3D animation and visualization
Instructor(s)	Jaro Lehtonen, lecturer
<p>The main theme of the Thesis was rigging a quadruped character. The anatomy of four-legged creatures was examined in a very universal manner, so that these studies are not restricted for certain types of quadruped animals only. The similarities and differences of two-legged and four-legged characters and the importance of a simple user interface of the rig played a vital role of the theoretical part of the Thesis.</p> <p>The Author modeled a horse for the animation studio Undo Oy's animation series beforehand, and that model is used as an example for the practical part. Messiah Studio is used for rigging, but the software is not a significant matter. The rigging process is went through step by step, and a few alternative rigging methods are presented. Working methods were found through trial and error.</p> <p>As a final result there is a finished rig for a horse character. The rig has a very user-friendly user interface for animators, and it comes with a build-in automatized tail swing. These kind of automatizations can help the animators to create more realistic movements quicker.</p> <p>These studies are very useful for everyone wishing to build a rig for quadruped characters. As the research is made to be universal, it does not matter which rigging software is used or whether the character is real or imaginary. All in all these studies are beneficial to all wanting to know more about the anatomical aspect of rigging a quadruped characters.</p>	
Keywords	3D, rigging, rig, quadruped, character, anatomy, horse

Sisälllys

1	Johdanto	1
1.1	Työn lähtökohtia	1
1.2	Miksi esimerkkinä on hevonen?	2
2	Käsitteiden määrittely	2
3	Nelijalkaisen hahmon anatomia ja liikkeet	4
3.1	Yleisesti	4
3.2	Luusto	5
3.2.1	Selkäranka	6
3.2.2	Kylkiluut	7
3.2.3	Etu- ja takajalat	8
3.2.4	Kallo	10
3.3	Lihakset ja jänteet	10
3.4	Nelijalkaisen hahmon liikkeistä	11
3.4.1	Erot kaksijalkaiseen verrattuna	12
3.4.2	Käynti, ravi, laukka	13
4	Nelijalkaisen hahmon riggaaminen	16
4.1	Yleisesti	16
4.2	Rigin ajatteleva mallinnusvaiheessa	16
4.3	Rigiluut ja rigilihakset	17
4.4	Rigiluiden asettelu ja linkitys	18
4.4.1	IK-ketjut	20
4.4.2	Reverse foot lock	21
4.4.3	Selkäranka	23
4.4.4	Pää, kaula ja leuka	24
4.4.5	Häntä	28
4.5	Kontrollerit	29
5	Ongelmat ja niiden ratkaisut	33
6	Lopputulokset ja loppupäätelmät	37
	Lähteet	39
	Liitteet	
	Liite 1. Esimerkkejä nelijalkaisen hahmon jalka-asennoista	
	Liite 2. Nelijalkaisen hahmon jalkojen liikeradat	

1 Johdanto

1.1 Työn lähtökohtia

Yksi tämän opinnäytetyön peruspilareista oli henkilökohtaisten haasteiden kohtaaminen. Samalla oli tarkoitus oppia itse uusia asiakokonaisuuksia ja esitellä näiden yhteyksiä tosielämän tarpeisiin. Halusin selvittää mahdollisimman kokonaisvaltaisesti nelijalkaisen hahmon anatomiaa sekä liikkeitä ja opetella riggaamisen saloja käytännön projektin avulla. Riggaamisella tarkoitetaan 3D-mallille tehtävää luurankoa ja siihen liittyvää käyttöliittymää, jonka avulla 3D-mallia voi animoida. Vaikka mallityönäni onkin hevonen, en keskity pelkästään hevosten riggaamiseen. Tarkoitukseni oli tutkia nelijalkaisen hahmon riggaamista ohjelma- ja lajirajat ylittäen, eli mahdollisimman yleispätevästi. Nelijalkaisten hahmojen anatomia ja rigit toki poikkeavat toisistaan, mutta niiden rigeihin liittyy yleispäteviä ongelmia, joihin tämä opinnäytetyö antaa ratkaisuja. Kaikki nelijalkaiset eläimet ovat rakentuneet jokseenkin samalla tavalla, mutta silti kaikilla niistä on omia erityispiirteitään esimerkiksi liikeratojen suhteen. Jos hevosen riggaa ja animoi liikkumaan kuten koira, se näyttää hyvin oudolta ja epäluonnolliselta. Vastaavasti jos koiran animoi liikkumaan kuten kiinalainen lohikäärme, sekin näyttää väärältä. Täten tutkimuksiani voisi käyttää myös esimerkiksi yliluonnollisia tai itsekeksittyjä hahmoja rigatessa.

Kun 3D-hahmo on mallinnettu, se on valmisteltava animointia varten. Tämän yleiskäsitteen alle voidaan lukea sekä riggaaminen (luiden tekeminen ja niiden kontrollointijärjestelmien rakentaminen) että skinnaaminen (hahmon polygoniverkon sitominen luihin). Riggaamiseen voidaan tarpeen mukaan laskea myös lihasten tekeminen, mikäli rigi sitä edellyttää. Usein nämä lihakset ovat vain lisäluita, joita on mahdollista venyttää lihasten kaltaisesti. Opinnäytetyössäni keskityn enimmäkseen anatomiaan sekä riggaamiseen ja jätän skinnaamisen käsittelyn kokonaan pois. Skinnaus on kuitenkin hyvä pitää mielessä jo luiden rakentamisvaiheessa, jotta valmis malli saadaan toimimaan halutulla tavalla.

Anatomian tunteminen on ensisijaisen tärkeää, koska ilman sitä rigin rakentaminen on hankalaa. Rigin avulla hahmon on kyettävä tekemään tiettyjä liikeratoja, ja nämä

liikeradat tulevat tutuiksi vain anatomiaan perehtymällä. Toinen erittäin tärkeä asia rigiä tehtäessä on se, että melko usein rigi lähetetään eteenpäin erilliselle animoijalle animoitavaksi. Tämän takia rigin käyttöliittymän on oltava mahdollisimman selkeä ja yksinkertainen, jotta ulkopuolisen on helppo liikuttaa rigiä haluamallaan tavalla.

Työn rakenne koostuu siten, että luvussa 2 esitellään työssä esiintyviä käsitteitä. Niihin on hyvä perehtyä ja niihin on hyvä palata, jos jokin tuntuu epäselvältä. Luvusta 3.1 lukuun 3.3 käsitellään nelijalkaisen hahmon anatomiaa luu- ja lihastasolla ja luku 3.4 keskittyy nelijalkaisen hahmon liikkeisiin. Liikkeitä käydään läpi melko pintapuolisesti, mutta niistä voi jo muodostaa käsityksen siitä, mihin kaikkeen nelijalkaisen hahmon rigin tulee taipua. Luvussa 3.4.1 pohditaan lisäksi lyhyeksi kaksi- ja nelijalkaisten hahmojen liikkeiden eroja.

Opinnäytetyön käytännöllinen osuus sisältyy lukuun 4. Alussa on muutamia rigin tekemiseen ja rigiluihin liittyviä yleisiä kommentteja, jonka jälkeen luvussa 4.4 siirrytään rakentamaan esimerkkihahmoa. Luvussa 5 esitellään rigin tekovaiheessa esiin nousseita ongelmia ja niiden ratkaisuja ja luku 6 päättää opinnäytetyön loppupohdintoihin.

1.2 Miksi esimerkkinä on hevonen?

Suoritin työharjoitteluni Undo Oy:ssä, ja siellä työskentelin paljon lännkärïanimaatiosarja Ghost Townin parissa. Kyseessä on Undo Oy:n oma tuotanto, jonka pilottijakso on parhaillaan työn alla. Ghost Townia varten mallinsin hevosen, ja sen riggaaminen linkittää opinnäytetyöni vahvasti työelämään. Valmis, rigattu malli pääsee siis sarjaan mukaan. En ollut ennen opinnäytetyön tekemistä juurikaan tutustunut hevosten anatomiaan tai liikkeisiin, joten laajasta ystävä- ja työkaveriverkostosta on ollut suuri apu.

2 Käsitteiden määrittely

IK- ja FK-ketju

IK-ketjulla tarkoitetaan säännöstöä, jonka mukaan toisissaan kiinni olevat rigiluut liikkuvat. Esimerkiksi olkapäästä ranteeseen voi tehdä IK-ketjun, jolloin rannetta

liikuteltaessa kyynärpää taipuu. Toinen vastaava linkitystekniikka on FK-ketju, jossa luita kierretään yksitellen edeten hierarkiassa ylhäältä alaspäin: ensin olkavartta, sitten kyynärvartta ja lopuksi kämmentä. Toisin kuin FK-ketjussa, IK-ketjussa määritellään olkavarren ja kyynärvarren kierto liikuttamalla pelkästään ranteen kohdalla olevaa IK-apuobjektia. IK-ketju kiertää olkavartta ja kyynärvartta automaattisesti siten, että ranne voi asettua apuobjektilla määritellyyn paikkaan.

Kontrolleri

Animointia ei ole koskaan hyvä tallentaa itse rigiluihin, vaan niitä liikutteleviin kontrollereihin. Kontrollerit myös tekevät rigistä helpommin ymmärrettävän ja niihin saa kirjoitettua erilaisia koodeja, joiden mukaan tietyt luut käyttäytyvät eri tavoin kuin toiset. Kontrolleri on siis mahdollisimman selkolukuinen ikoni, apupiste tai muu apuobjekti, jonka avulla rigiä voi liikutella mahdollisimman intuitiivisesti.

Parentointi

Parentoinnilla tarkoitetaan sitä, kun rigiluut ja/tai kontrollerit linkitetään kiinni toisiinsa. Parentoitaessa 3D-objektin isäntäkoordinaatoksi määritellään peruskoordinaatiston sijaan jonkin toisen 3D-objektin koordinaatisto. Näin syntyy hierarkia, jossa ylempänä olevaa isäntäobjektia (parent) siirtämällä, kiertämällä tai skaalaamalla myös hierarkiassa alempana oleva objekti (child) kiertyy, siirtyy tai skaalautuu.

Reverse foot lock, "RFL"

Reverse foot lock tarkoittaa karkeasti suomennettuna takaperoista jalkalukitusta. Se saa nimensä siitä, että sen rigiluut kootaan ikään kuin väärään suuntaan, eli varpaista kohti nilkkaa. Yleensä kaikki luut tehdään hierarkkisesti ylhäältä alaspäin. Jalan voi myös helposti lukita maanpintaan, siitä termi "lukitus". Reverse foot lockissa tehdään jalalle muutama apuluu ja kontrolleri, jonka jälkeen jalkaan tehtyt IK-ketjut parentoidaan näihin kontrollereihin. Täten IK-ketjuja voi liikuttaa liikuttamalla vain RFL:n kontrolleria, eikä kaikkia niistä tarvitse liikutella erikseen. RFL:n apuobjektit voi piilottaa lopullisesta rigistä, jolloin ne ovat yhä toiminnassa, mutta eivät ole tiellä.

Reverse foot lockin voi tehdä esimerkiksi toisiinsa parentoiduilla apuobjekteilla, jos ei halua käyttää varsinaisia luita. Luiden käyttöä RFL:n yhteydessä harrastetaan lähinnä siksi, että niiden avulla hierarkia syntyy automaattisesti.

Riggaaminen

Riggaamisella tarkoitetaan 3D-mallille tehtävää luurankoa, jonka avulla mallin animointi on mahdollista. Riggaaminen siis valmistaa 3D-mallin animointia varten, koska pelkkää mallia on hyvin hankala lähteä animoimaan. Tällöin jokaista palasta pitäisi liikuttaa erikseen. Rigi rakennetaan erilaisia objekteja ja apuobjekteja yhdistelemällä, ja tavoitteena on mahdollisimman yksinkertainen käyttöliittymä. Animoijalle täytyy olla kertasilmäyksellä selvää, mikä kontrolleri liikuttaa mitään mallin osaa. Rigin kaikille luille on hyvä luoda kontrollerit, joita liikuttelemalla kaikki tarvittavat osat liikkuvat. Esimerkiksi eläimen jalkoihin on rakennettava monta IK-ketjua ja apuluuta, jotta polvet ja nilkat taivutuvat ja kääntyvät oikein yhtä kontrolleria liikuttamalla.

Skinnaaminen

Kun 3D-malli ja rigi on tehty, täytyy 3D-malli saada linkitettyä rigiin siten, että se liikkuu, kun rigiä liikutellaan. Tätä kutsutaan skinnaamiseksi. Useimmiten pelkkä automaattinen napin painaminen ei riitä, vaan rigiluiden vaikutusalueita on määriteltävä käsin. Vaikutusalueiden perusteella tietyt verteksit liikkuvat, kun tiettyä rigiluuta liikutellaan. Yhtä kohtaa mallissa voi määritellä useampi kuin yksi rigiluu: kun siirtymät tapahtuvat pehmeästi, saadaan aikaan luonnollisen näköinen, lihaksia simuloiva liike.

3 Nelijalkaisen hahmon anatomia ja liikkeet

3.1 Yleisesti

Mikäli lopputuloksena saatavan hahmon on oltava missään määrin realistinen, on syytä tutustua huolellisesti nelijalkaisten hahmojen anatomiaan ja liikkeisiin. Useimmissa tapauksissa malli kannattaa alun perinkin mallintaa edes jokseenkin todentamaan painovoiman lakeja, vaikka se olisikin muutoin mielikuvituksen tuotetta. Yliluonnolliset olennot tuntuvat uskottavammilta, mikäli niiden voisi olettaa toimivan elävässä elämässä. Olennon ruumiin painopistettä on hyvä miettiä, koska liian etupainotteinen hahmo näyttää kaatuvan eteenpäin, vaikkei se oikeasti kaatuisikaan. Ihmissilmä on hyvin herkkä huomaamaan tällaisia epäkohtia niin orgaanisissa kuin epäorgaanisissakin 3D-malleissa. Hahmolle on myös annettava fyysisen painon tuntu, jolloin se esimerkiksi käveltäessä selvästi siirtää painoa jalalta toiselle.

Lentäville eläimille kannattaa tehdä tarpeeksi isot siivet, jotta ne jaksaisivat kannatella ruumiin painoa. Tämä huomio ei päde liioiteltuun, sarjakuvamaiseen tyyliin – joskin myös näiden tyyllisuuntausten kannattajien kannattaa olla tietoisia siitä, mitä ovat muokkaamassa. Yleisenä sääntönä voi pitää sitä, että mitä pienempi keho, sitä tiheämmin siihen liittyvät siivet lyövät. Tästäkin on toki poikkeuksia, jotka lähinnä todentavat sitä, että todellisuus on joskus tarua ihmeellisempää. Esimerkiksi kimalaisen lentoa pidettiin pitkään aerodynamisten lakien vastaisena, mutta sittemmin mysteeri on selvitetty erikoistarkkojen kameroiden avustuksella (Maugh II 2005). Mallinnusvaiheessa tällä on itse siipien koon lisäksi merkitystä myös rintalihasten koossa. Mitä enemmän töitä siipien on tehtävä, sitä isommat lihakset hahmo niille tarvitsee.

Eri eläinlajeja yhdistelemällä saadaan aikaan mielenkiintoisia ja toimivan näköisiä kokonaisuuksia. Esimerkiksi kiinalainen lohikäärme on hyvin pitkänmallinen ruumiiltaan, joten sen luustoa miettiessä voi käyttää apuna käärmeen luustoa. Kun anatomiaa tuntee kylliksi, käärmeen rankaan on helppo kiinnittää raajat ja mahdolliset siivetkin. Useimmat taruolennot, kuten kentaurit, mantikorit ja kimairat ovat kahden tai useamman tavallisen eläimen sekoituksia. Tärkeintä on ymmärtää, millä tavoin lisäosat kiinnittyvät ja miten ne liikkuvat muihin osiin nähden.

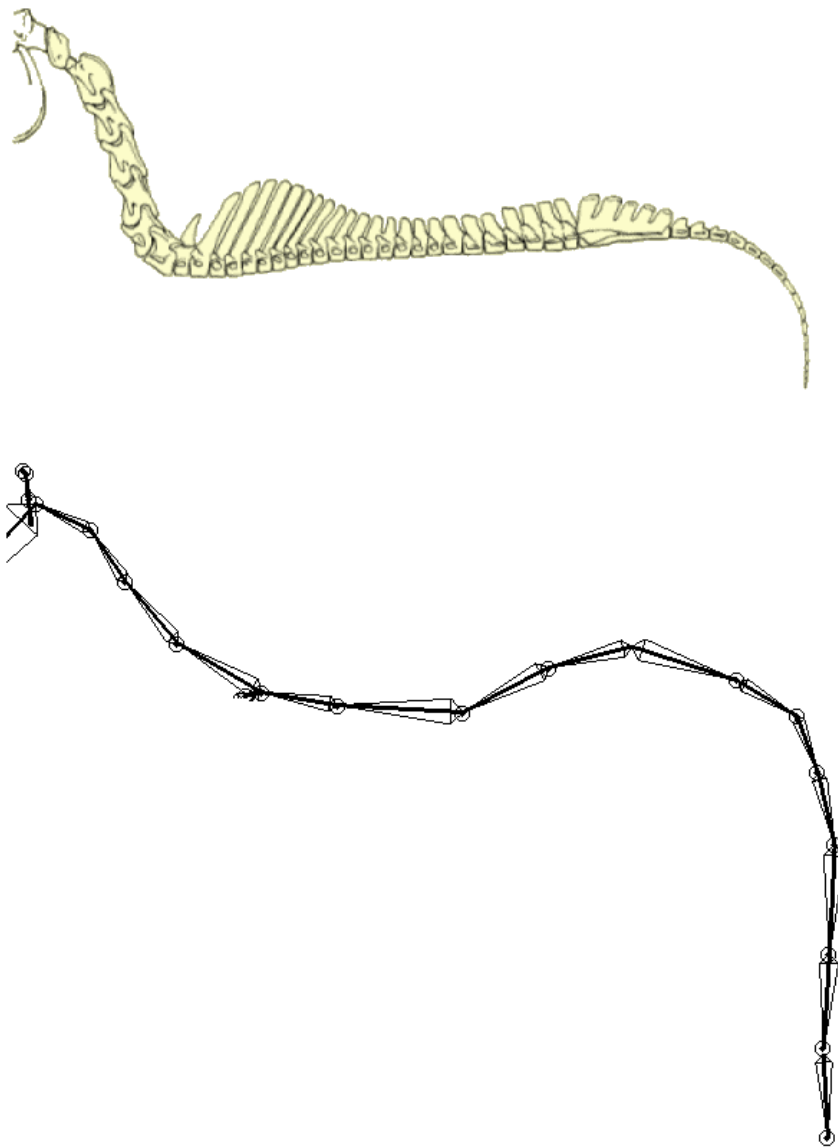
3.2 Luusto

Tässä osiossa käsitellään kokonaisvaltaisesti nelijalkaisen hahmon luustoa. Rigin rakentamisen apuna on hyvä käyttää luurankomallia käsittelemästään eläimestä. Vaikka oma pohjamallini on hevonen, nelijalkaisen olion luusto on pääpiirteittäin sama eläinlajista riippumatta. Myös kaksijalkaisten eläinten luusto on lähes identtinen, mutta keskityn kuitenkin avaamaan vain neljällä jalalla kulkevien eläinten anatomiaa. Tätä luustopohjaa voi käyttää myös suunniteltaessa aivan omia lajeja.

Kalat, sammakot, liskot ja nisäkkäät kuuluvat selkärankaisten heimoon. Kaikilla näistä on selkäranka, joka tukee kehoa ja päätä. Kaloja lukuunottamatta kaikkien luuston rakenteessa on sama peruseriaate: luut kiinnittyvät selkärankaan, joka on kaiken liikkeen perusta. Kallo suojelee aivoja ja kylkiluut sydäntä sekä keuhkoja.

3.2.1 Selkäranka

Selkäranka koostuu ruston avulla yhteen liittyneestä, joustavasta nikamaketjusta, joka alkaa kallon juuresta ja päättyy hännän päähän. Lihakset kiinnittyvät nikamiin, joiden koko ja muoto vaihtelee suuresti riippuen siitä, missä kohtaa rankaa nikama sijaitsee. Esimerkiksi kaularangan kaksi ylintä nikamaa kannattelevat päätä ja edesauttavat sivuttais- ja pystysuuntaisia liikkeitä. Erityisesti raskaspäisillä eläimillä nämä nikamat ovat suuria.



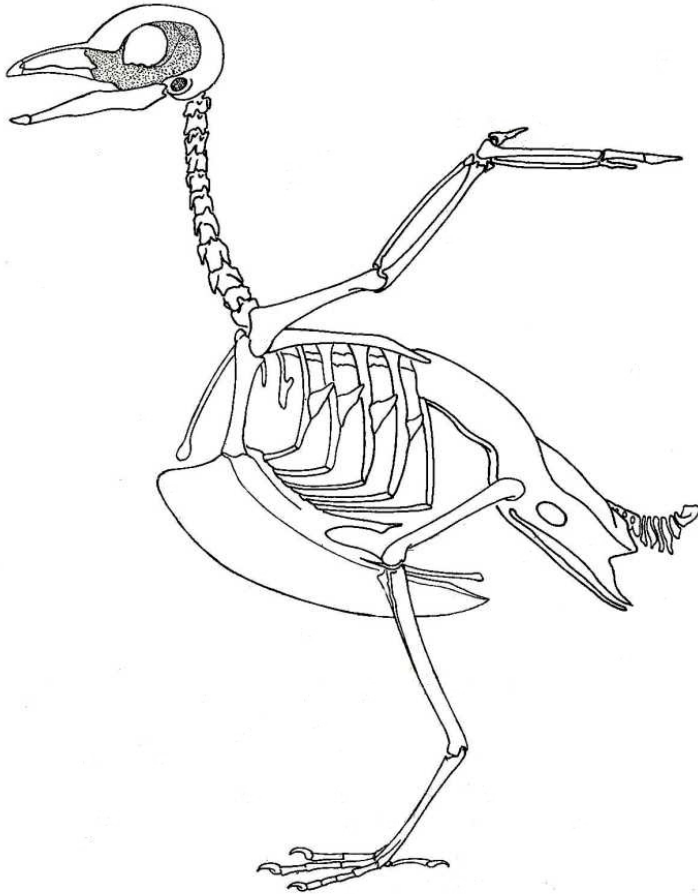
Kuvio 1. Hevosen selkärangan luustorakenne yllä, rigirakenne alla (Dr. Jill's Chiropractic Care Center 2012)

Riggausnäkökulmasta ajateltuna selkärankaan ei tarvitse tehdä niin montaa rigiluuta kuin nikamia oikeasti on. Tämä johtuu siitä, ettei selkä taivu jokaisen yksittäisen nikaman kohdalta merkittävän paljoa. Poikkeuksena tästä säännöstä on häntä, johon on hyvä lisätä useampia rigiluita. Hevosmallissani myös häntäjouhet on mallinnettu polygoneista, joten rigiluut jatkuvat hyvin paljon pidemmälle kuin hevosen oikeat häntäluut (ks. kuvio 1). Tämä johtuu siitä, että myös jouhet on rigattava, jotta niiden liikkeitä voisi kontrolloida. Selkärigissä voi myös soveltaa sään aluetta, sillä nikamien harjanteet eivät ole välttämättömiä yksinkertaistetussa rigissä.

Peruslähtökohta selkärangan luiden hierarkialle on se, että lantio on kaiken keskipiste. Tällöin lantiosta lähtee hierarkkisesti kaksi luuketjua: toinen kohti hännänpäästä ja toinen kohti päätä. Kalloluun voi hyvin yhdistää selkärangan hierarkiaan. Selkärangan kontrollereita ja niiden asettelua käsittelen myöhemmin luvussa 4.5.

3.2.2 Kylkiluut

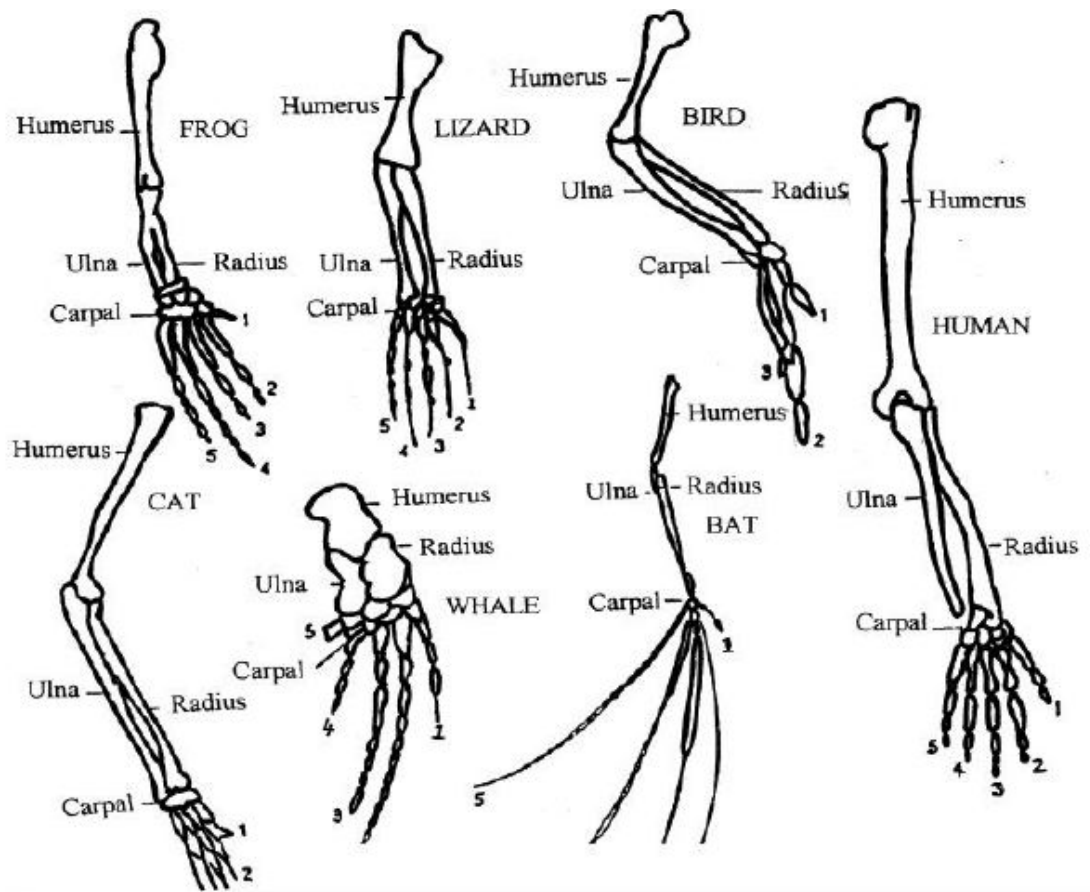
Kylkiluita on parillinen määrä ja ne kiinnittyvät selkänikamiin. Nikamia vasten ne myös liikkuvat hengitettäessä. Toisesta päästään kylkiluut kiinnittyvät rintarankaan, mutta on olemassa myös lajeja, joilla taaimmaiset kylkiluuparit ovat kiinni vain selkärangassa. Kylkiluita ei välttämättä tarvitse ottaa huomioon rigiä rakentaessa. Koko rintakehän alueelle voi halutessaan tehdä esimerkiksi yhden ison luun, johon kyseisen alueen voi skinnata. Kylkiluiden liikkeet tulevat ilmi lähinnä hengitettäessä eivätkä luut silloinkaan liiku erikseen. Siivekästä hahmoa suunnitellessa on hyvä pohtia myös lintujen anatomiaa: linnuilla rintaranka on ikään kuin kölimäinen, ja siipilihakset kiinnittyvät siihen.



Kuvio 2. Linnun luuranko (Mackean 2004)

3.2.3 Etu- ja takajalat

Etujalka koostuu olkaluusta, varttinäluusta, kyynärluusta, ranneluista, kämmenluista ja varvas- tai sormiluista. Eturaajoissa lapaluu kiinnittää olkaluun selkärankaan. Eri eläinlajeilla raajat ovat kehittyneet edesauttamaan kunkin lajin elinympäristöön tarvittavia funktioita, mutta perusrakenne on sama. Linnuilla ja lepakoilla on siivet ja valailla, hylkeillä ja pyöriäisillä räpylät.



Kuvio 3. Eri eläinten eturaajoja, ylärivissä sammakko, lisko, lintu ja alarivissä kissa, valas ja lepakko. Äärioikealla ihminen (Wikipedia 2011)

Jalkojen rigiluustoa miettiessä ylläolevat faktat on hyvä ottaa huomioon. Ranteeseen ei tarvitse tehdä jokaista pikkuluuta erikseen, koska niiden yksittäisillä liikkeillä ei ole merkitystä. Sen sijaan pidemmät luut ja niiden yhtymäkohdat ovat rigiluissakin erittäin huomionarvoisia. Olkavarsi, kyynärvarsi, kämmen ja sormien ja varpaiden luut (useimmiten kolme kussakin sormessa/varpaassa käyttötarkoituksesta ja eläinlajista riippuen) ovat tärkeimpiä. Mikäli hahmon ei ole tarkoitus käyttää varpaitaan erikseen, ne eivät tarvitse yksittäisiä luita, vaan yksi käpälä-/kavio-/sorkkaluu riittää. Rigiluiden linkitys raajoissa tapahtuu siten, että olkaluu/reisiluu on ylimpänä ja muut luut tulevat hierarkkisesti sen alle. Tällöin olkaluuta liikuteltaessa muut luut liikkuvat perässä, mutta rigivarvasta liikuteltaessa vain varvasluu liikkuu. Kunkin sormen/varpaan ensimmäinen luu tulee linkittää kämmenluuhun.

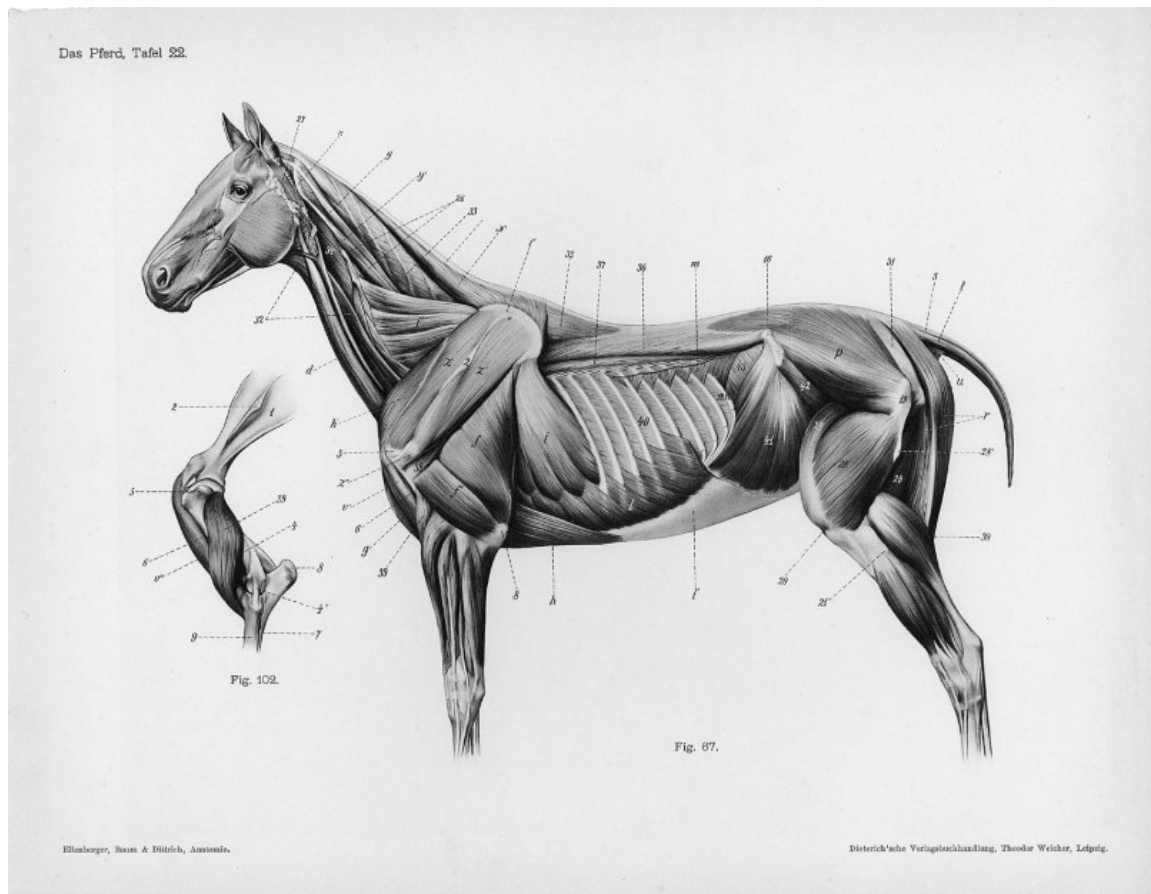
3.2.4 Kallo

Nisäkkään kallo koostuu kolmestakymmenestä palasesta, jotka sulautuvat yhteen eläimen kehitysvaiheessa. Kallon pääasiallinen tarkoitus on suojella aivoja ja tuntoelimiä. Kallon ainoa liikkuva osa on leuka, jolle rigissä tehdään usein oma rigiluu. Tämän lisäksi myös kasvorigin voi halutessaan tehdä luilla.

3.3 Lihakset ja jänteet

Luiden päälle rakentuvat lihakset ja jänteet, joiden avulla luurankoa voi liikuttaa. Kuten luutkin, myös lihakset asettuvat eri nelijalkaisilla eläimillä suurin piirtein samoihin kohtiin. Sen lisäksi, että rigiä rakentaessa on hyvä tuntee luiden sijoittelua ruumiissa, myös lihaksiin ja jänteisiin on tärkeää kiinnittää huomiota. Juuri ne rakentavat hahmon lopullisen muodon. Vaikka rigistä useimmiten puhutaankin luurankona, siihen on mahdollista lisätä myös lihaksia simuloivia rigilihaksia. Rigilihakset supistuvat ja venyvät samaan tapaan kuin oikeat lihakset ja rigilihakset voi kiinnittää rigiluihin. Näiden ansiosta skinnaaminen helpottuu, kun pinnan alla on oikeasti muutakin kuin vain luut.

Toisaalta rigilihaksia voidaan käyttää myös rigiluiden tilalla, sillä ne mahdollistavat niin kutsutun squash and stretch –tekniikan. Tällöin hahmon liikkeitä voi liioitella venyttämällä ja litistämällä hahmon muotoa sopivissa kohdin animaatiota. Tämä on erityisen käytännöllistä esimerkiksi sarjakuvamaisuuteen tähtäävissä animaatioissa, kun hahmon ei tarvitse olla täysin realistinen.



Kuvio 4. Hevosien lihaksisto (Dittrich 1925)

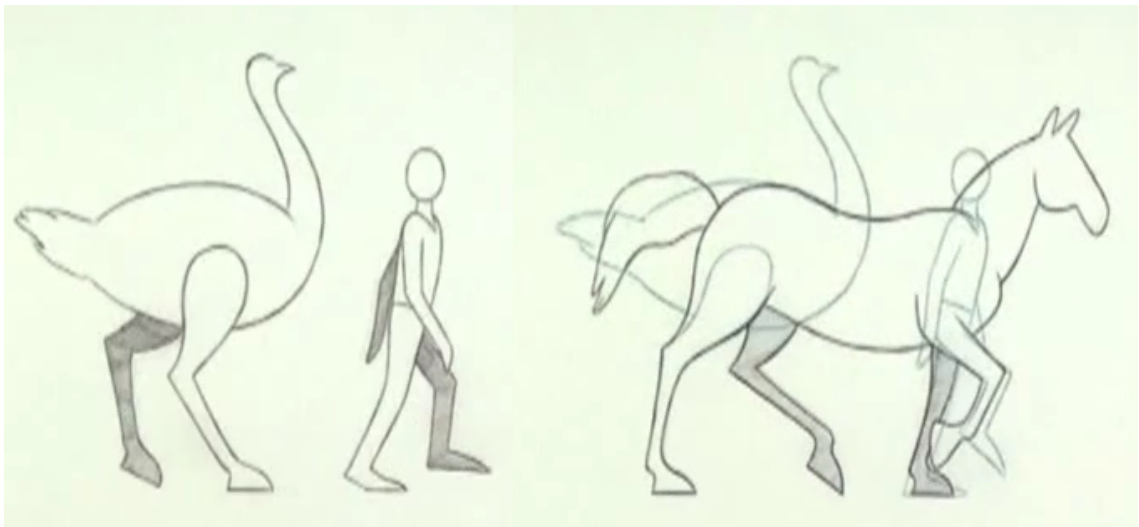
3.4 Nelijalkaisen hahmon liikkeet

Tässä luvussa aion käydä pintapuolisesti läpi nelijalkaisten hahmojen liikkeitä. Kissat, koirat, hevoset ja liskot liikkuvat toisiinsa nähden hyvin eri tavalla. Hahmon liikkeitä voi miettiä myös siltä kannalta, että jos sillä on käärmemäisen pitkä torso ja hyvin lyhyet, liskomaiset jalat, se liikkeet ovat lähempänä vaikkapa krokotiilia kuin nisäkästä. Pitkäraajaiset hahmot ottavat paljon pidempiä askelia, jolloin niiden keskivartalonkin liike on aivan erinäköistä kuin lyhytraajaisilla. Maahan osuvien jalkojen järjestys eri askellajeissa on useimmiten samankaltainen. Tästä on useita poikkeuksia, ja nelijalkainen eläin voi esimerkiksi ravata etujaloillaan ja kävellä takajaloillaan. Esimerkiksi elefantit pitävät suurissakin nopeuksissa aina kaksi jalkaa maan pinnalla (Science Daily 12.2.2010). On hyvä pohtia tekemänsä hahmon painoa: kevyet hahmot liikkuvat aivan toisenlaisella intensiteetillä kuin raskaat.

Animoitaessa on tärkeää kiinnittää huomiota painopisteisiin ja painon tuntuun. Kun hahmo liikkuu, sen painopiste muuttuu koko ajan. Kun hahmo ponnistaa takajaloillaan, se on yhteydessä maahan aivan eri tavalla kuin silloin, kun se ottaa etujaloillaan kehonsa painon vastaan. Mitä painavammaksi hahmo on tarkoitettu, sitä keskeisempi käsite painon tuntu on. Lisäksi hahmon liikkumiseen vaikuttaa hyvin paljon se, minkälaiset jalat sillä on. Jos jalat ovat länkiset tai pihtiset, niiden liikeradat eivät ole suorat. Tämän opinnäytetyön liitteessä 1 on ehdotuksia siitä, minkälaisia erilaisia jalka-asentoja hahmojen suunnitteluvaiheessa voi halutessaan hyödyntää.

Rigatessa hahmolle on tehtävä kontrollerit, jotka liikuttavat lantiota ja säkää erikseen, sillä se helpottaa huomattavasti animoijan työtä. Jaloille täytyy tehdä kontrollerit, jotka voi lukita kiinni maan tasoon – ilman niitä minkään liikkeen tekeminen on vaikeampaa. Eläimen keho on äärimmäisen joustava, joten pelkkien jalkojen liikuttamisella ei millään voi saada aikaan luontevaa liikettä.

3.4.1 Erot kaksijalkaiseen verrattuna



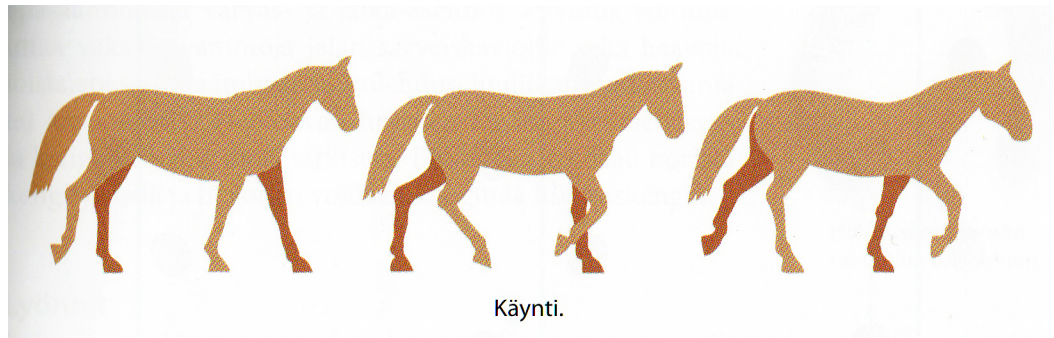
Kuvio 5. Kaksi- ja nelijalkaisten kävelyssä on paljon samaa (Williams 2005)

Ensialkuun voisi kuvitella, ettei kaksijalkaisen eläimen liikkeissä olisi juurikaan samankaltaisuuksia. Toinen liikkuu pystyasennossa, joten sen eturaajat heiluvat kävellessä usein vapaasti kehon muita liikkeitä mukaillen, ja toinen tarvitsee jokaista raajaa kehon painon vastaanottamiseen. Kaksijalkaisilla painopiste kulkee suoraan päältä maahan, nelijalkaisilla tilanne on eri. Kaula ja pää tuovat etuosaan painoa ja

tasapainon vuoksi takapäässä on useimmiten voimakkaammat lihakset kuin edessä. Esimerkiksi hevosten takapää onkin ikään kuin liikkeelle työntävä moottori, josta liikkeen voima lähtee. Liskoilla tätä epätasapainoa korjaa pitkä häntä. Mutta mikäli keskittyy enemmänkin nimenomaan jalkoihin, kaksi- ja nelijalkaisista löytyy paljon samaa.

3.4.2 Käynti, ravi, laukka

Käynti



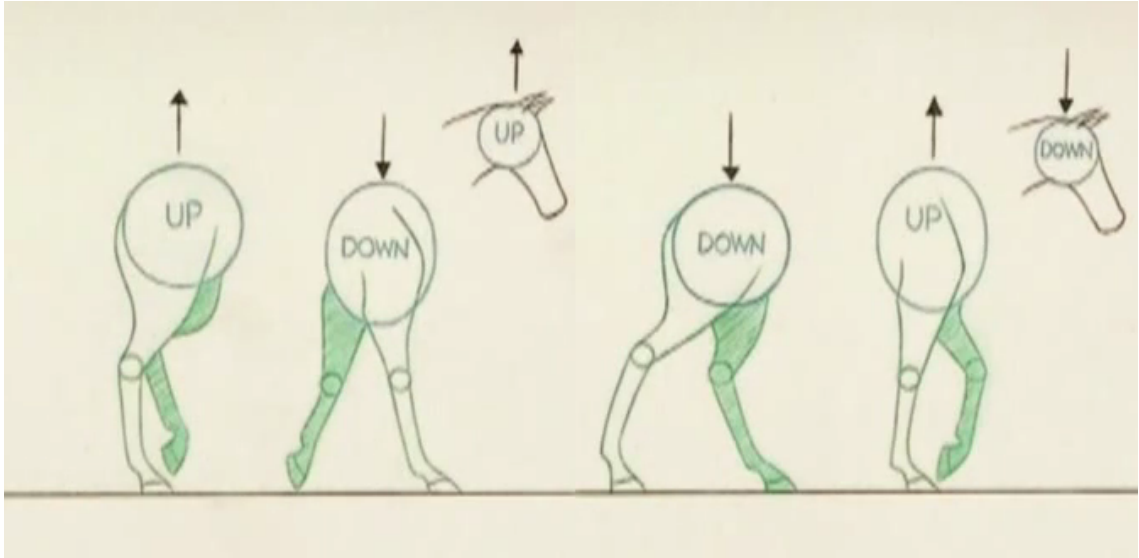
Kuvio 6. Hevosen käynti (Granström, Johansson, Laiho & Sharra 2011, 65)

Käynti on nelitahtinen askellaji, jossa eläimen jalat osuvat maahan selvästi vuorotellen. Saman puolen jalat eivät puhtaassa käynnissä ole irti maasta kuin hetken, kun etujalka nousee pois kohta maahan osuvan takajalan tieltä. Kunkin jalan askel on yhtä pitkä ja symmetrinen (Kaimio 2004, s 261). Jos saman puolen jalat liikkuvat eteen samanaikaisesti, on kyse passikäynnistä.

Pitkäraajaiset ja lyhyt- ja korkeavartaloiset eläimet suosivat usein passikäyntiä eli peitsausta, jossa samanpuoleiset jalat liikkuvat yhtä aikaa eteen. Esimerkiksi kamelit ja kirahvit peitsaavat vähentääkseen omiin jalkoihinsa kompastumisen vaaraa. Peitsaus on hieman epävakaa liikkumistapa, mutta se tuottaa harvoin merkittäviä ongelmia kamelien ja kirahvien luontaisessa elinympäristössä. (Tieteen kuvalehti 15/2005, 13).

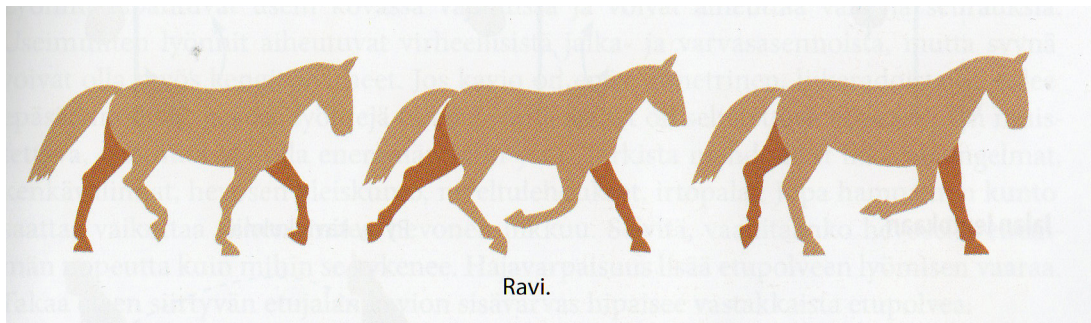
Jalkojen askelkuvioiden lisäksi täytyy kiinnittää huomiota myös kehoon. Elävällä olennolla jalat eivät koskaan ole ainoa liikkuva kohta, vaan keho mukaillee alati liikettä. Kun hahmo nostaa takajalkaa, sen koko takaosa nousee ylöspäin. Samalla etuosa painuu alemmas. Kun hahmo nostaa etujalkaa, koko etuosa nousee ylemmäs ja takaosa painuu alas. Pää liikkuu samaan tahtiin kuin takaosa (ks. kuvio 7). Kun molemmat takajalat ovat maassa ja toinen etujalka on ohitusvaiheessa, lantio, säkä ja

pää ovat keskiasennossa. Samoin kun molemmat etujalat ovat maassa ja toinen takajalka ohitusvaiheessa. Kaikissa väliin jäävissä vaiheissa kehon eri osat ovat perusasennossa.



Kuvio 7. Jalkojen liikuessa myös kehon muut osat on otettava huomioon (Williams 2005)

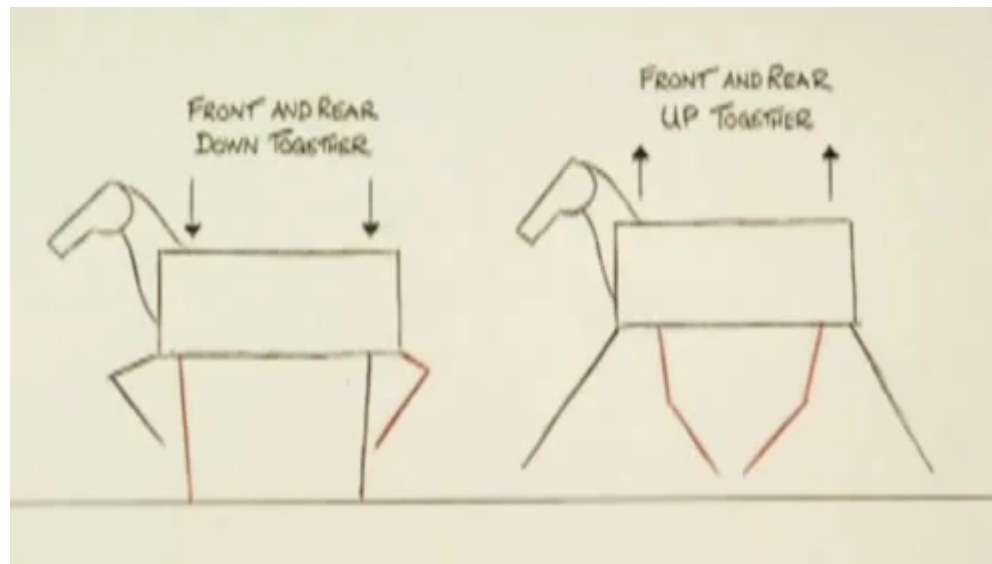
Ravi



Kuvio 8. Hevosen ravi (Granström ym 2011, s. 65)

Ravi on kaksitahtinen askellaji, jolloin lähes samaan aikaan tulevat maahan vasen takajalka ja oikea etujalka ja vastaavasti oikea takajalka ja vasen etujalka (Kaimio 2004, 261) . Poljentojen välissä on liitovaihe, jossa kaikki jalat ovat irti maasta.

Ravissa kehon etu- ja takaosa liikkuu yhtä aikaa ylös ja alas. Kun vastakkaisten puolten jalat osuvat maahan, sekä etu- että takapää painuvat alas. Liitovaiheessa molemmat nousevat ylöspäin (ks. kuvio 9).



Kuvio 9. Myös kehon muut osat on otettava huomioon (Williams 2005)

Laukka



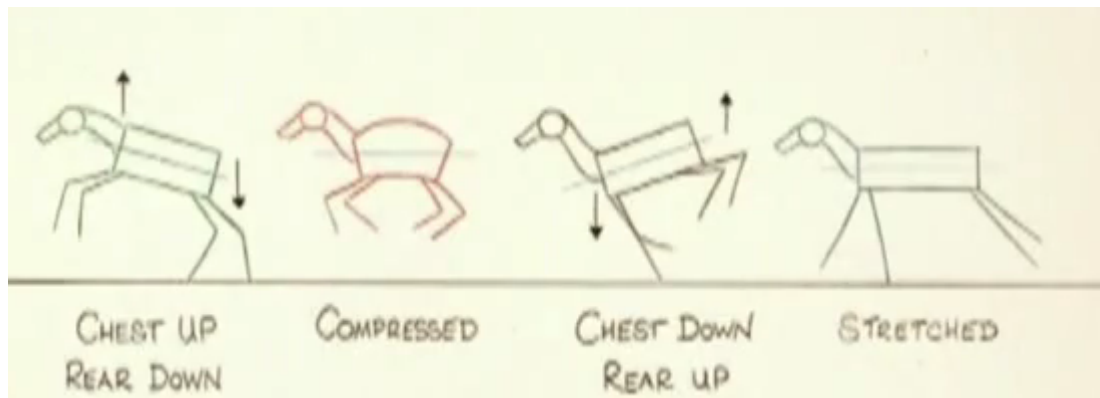
Kuvio 10. Hevosen kolmitahtinen laukka (Granström ym 2011, 65)

Hidas peruslaukka on kolmitahtinen askellaji, jossa yksi ristikkäinen jalkapari osuu maahan samanaikaisesti. Kiitolaukka on nelitahtinen. Laukka on epäsymmetristä, eli joko vasen tai oikea puoli liikkuu toisen puolen edellä.

Vapaasti laukkaava hevonen laukkaa yleensä vasenta laukkaa kääntyessään tai nojatessaan vasemmalle ja oikeaa laukkaa kääntyessään oikealle. Suoraan laukkaavat hevoset saattavat vaihtaa laukkaa myös välttääkseen väsymyksen. (Kaimo 2004, 262).

Laukka vaikuttaa kehoon näistä liikkeistä eniten. Liikettä on ajateltava neljänä eri vaiheena, joista yhdessä keho on venytetty äärimmilleen, toisessa se painuu kasaan ja

kahdessa viimeisessä on kyse etu- ja takapään sijainnista suhteessa toisiinsa (ks kuvio 11).



Kuvio 11. Jalkojen liikkuessä myös kehon muut osat on otettava huomioon (Williams 2005)

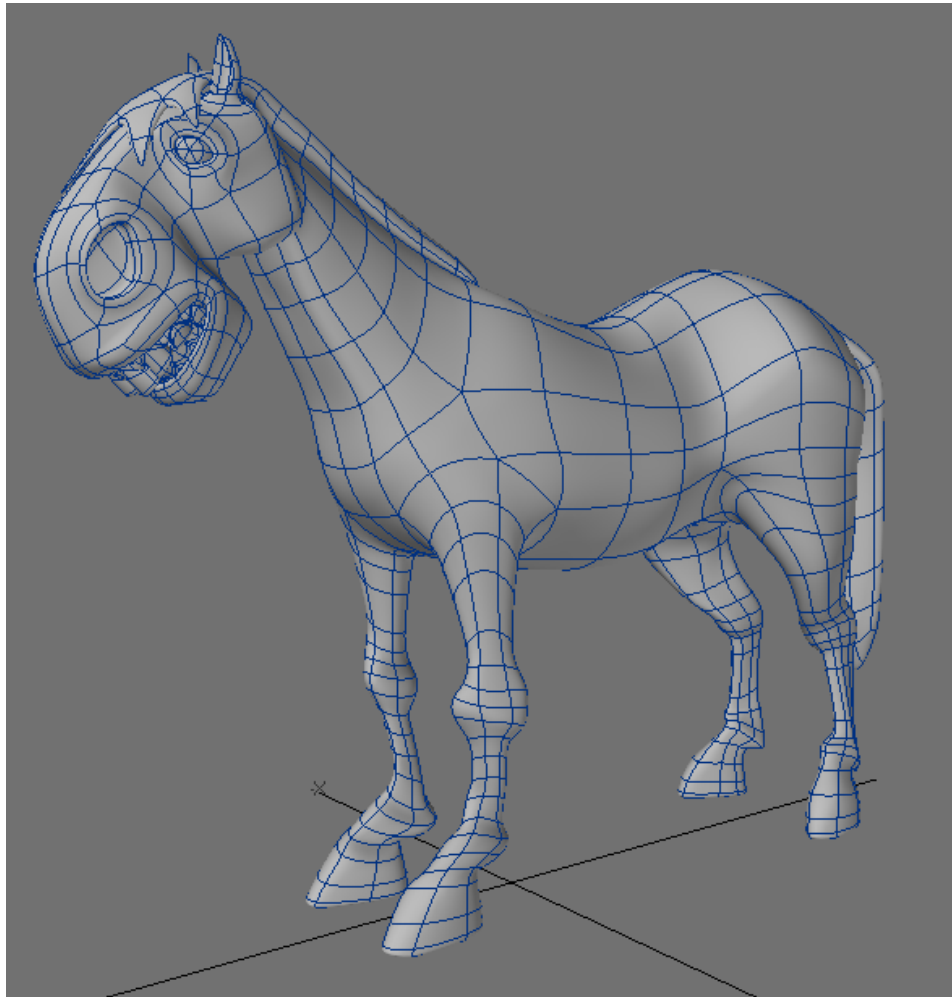
4 Nelijalkaisen hahmon riggaaminen

4.1 Yleisesti

Tässä osiossa aion käydä läpi varsinaista riggaamista. Esimerkissäni käytän riggaamiseen Messiah Studiota, mutta pyrin pohtimaan riggausta enemmän yleisellä tasolla. Tästä syystä en juurikaan keskity erilaisten säätönappien, vipujen tai käyttöliittymän kommentointiin. Lisäksi esimerkkinäni on hevonen, joten kaikkia siinä käytettyjä riggaamisohjeita ei voi suoraan käyttää kaikkiin mahdollisiin nelijalkaisiin hahmoihin. Siinä on kuitenkin aimo liuta hyviä niksejä, joita voi soveltaa mihin tahansa eläimeen. Koira ja kissa liikkuvat aivan eri tavoin kuin hevonen, vaikka kaikilla niillä on neljä jalkaa. Kun aikaisemmissa luvuissa käyty anatomiset ja kineettiset seikat on otettu huomioon, rigin rakentamiseen on hyvät lähtökohdat.

4.2 Rigin ajattelu mallinnusvaiheessa

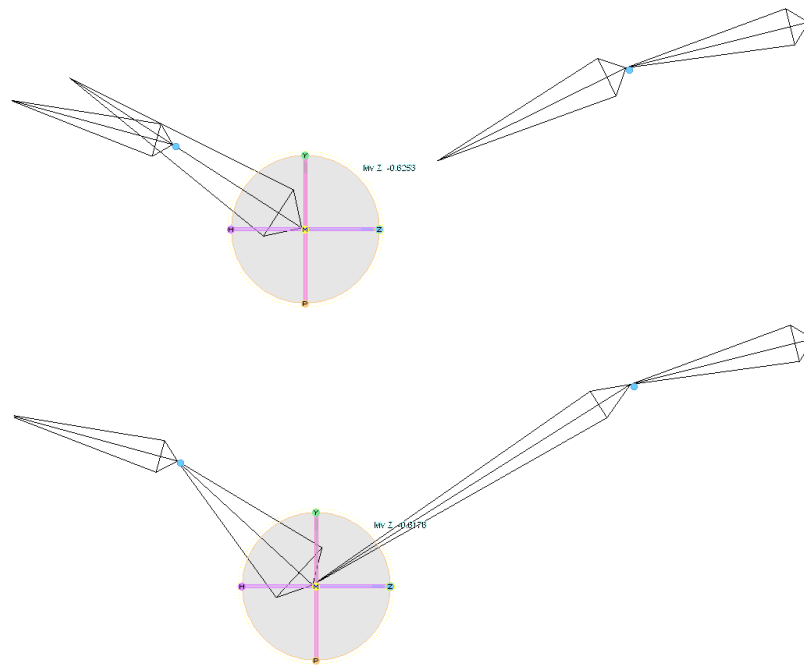
Mallintamisen yhteydessä voi tulevaa rigiä miettiä myös sen verran, että nivelten ja muiden liikkuvien osien kohdalle on hyvä tehdä tiheämpää verkkoa. Verkko täytyy myös rakentaa siten, että edge loopit seuraavat lihaksia. Esimerkiksi silmien ja suun ympärillä tämä on erityisen tärkeää, jotta 3D-malli liikkuisi rigin mukaan järkevästi (ks kuvio 12).



Kuvio 12. Hevosmallin polygoniverkko

4.3 Rigiluut ja rigilihakset

Rigiluiden ja rigilihasten välinen ero on siinä, että toiset pysyvät aina samanmittaisina ja samassa mittakaavassa, kun toiset venyvät ja supistuvat tilanteen mukaan. Lihaksia voi käyttää joko ns. tavallisten luiden tukena, eli mallintamaan oikeiden lihasten paikkoja ja toimintoja, tai tavalliset luut voi muuntaa toimimaan lihasten tavoin. Jälkimmäinen on hyvin käytännöllinen toimenpide animoitaessa hyvin sarjakuvamaisia hahmoja, joiden anatomian kuuluukin venyä ja litistyä liikkeiden mukaan. Mikään ei estä käyttämästä lihasluita tavallisten luiden sijaan myös ns. realistisessa mallissa, mutta tällöin animoijan on pidettävä huoli siitä, ettei efekti mene liiallisuuksiin ja malli pauku rikki. Lihasluita rakennettaessa on myös muistettava kertoa luulle, mihin suuntaan sen kuuluu osoittaa – muuten se saattaa venyä ja paukkua epätoivottuihin suuntiin. Useimmiten luun täytyy osoittaa hierarkiassa seuraavana olevaan objektiin.

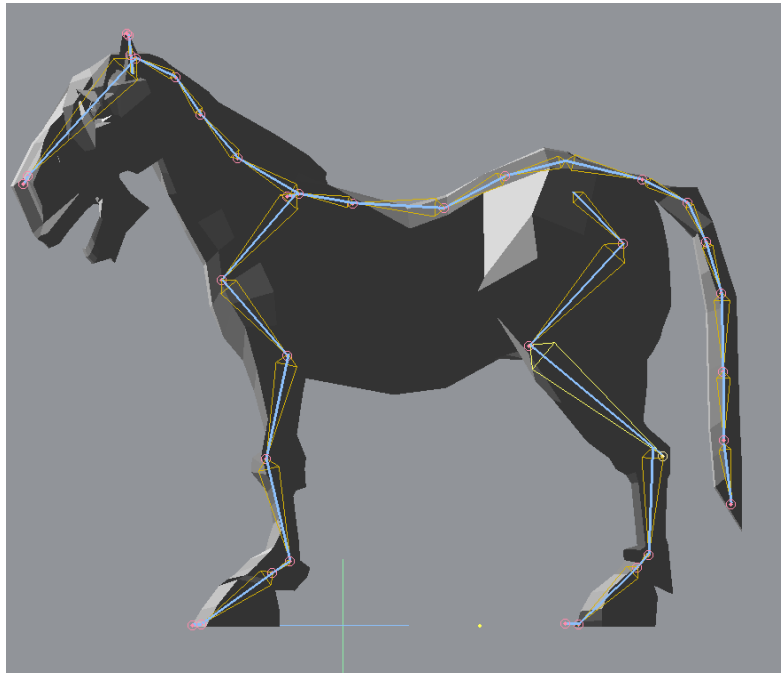


Kuvio 13. Ylemmässä rigiluut ovat tavallisia luita, alemmassa lihaksia

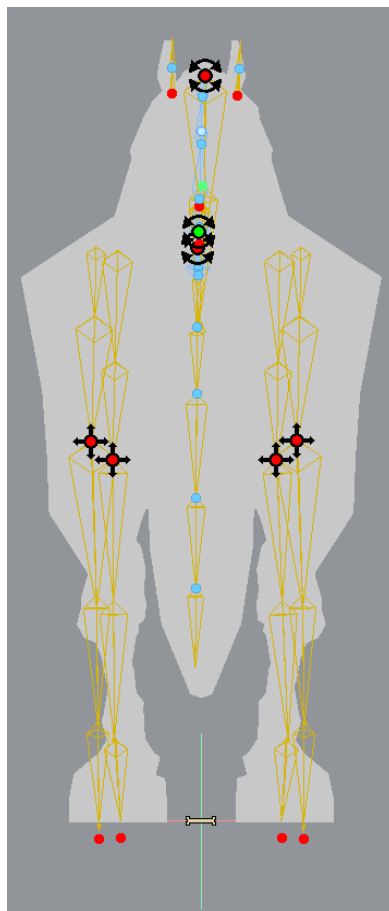
4.4 Rigiluiden asettelu ja linkitykset

Rigiluiden asettelussa kannattaa hyödyntää mallihahmon mahdollista oikeaa luurankoa. Esimerkissäni on luontevaa ottaa referenssikuvaksi hevosen luusto. Mielikuvitusolentojenkin luusto toimii useimmiten samaan tapaan kuin oikeiden eläinten, joten referenssikuvien etsiminen on suotavaa. Toki kaikkia sääntöjä voi soveltaa, kunhan pitää samalla mielessä sen, että hahmon olisi hyvä edes vaikuttaa uskottavalta.

Selkärankaan ei tarvitse tehdä yhtä montaa rigiluuta kuin nikamia oikeasti on (ks luku 3.2.1 Selkäranka). Ranka ei ole yhtä taipuisa kuin esimerkiksi häntä, joka tarvitsee enemmän luita oikeanlaisen liikkeen saavuttamisen takaamiseksi. Kunhan ranka taipuu luonnollisen oloisesti, se riittää. Jalkojen kohdalla kannattaa olla tarkempi, koska luiden yhtymiskohtien paikat on hyvä miettiä tarkkaan. Myös polvien kohdat ovat tärkeitä – taite kannattaa tehdä mieluummin polvilumpion kohdalle kuin keskelle jalkaa. Tämä auttaa skinnaamista myöhemmin (ks kuvio 14).



Kuvio 14. Hevosen rigiluita, jotka myötäilevät oikean eläimen luustoa

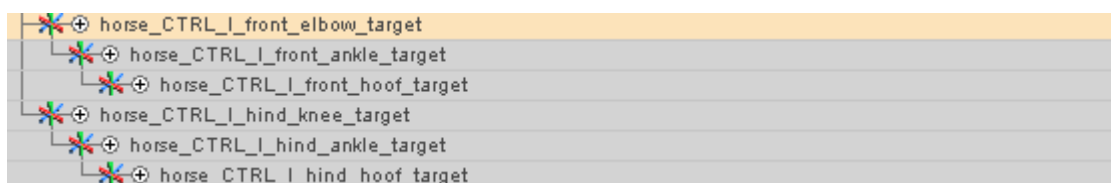


Kuvio 15. Vaikka mallin jalat ovat edestä katsottuna väänkyvät, rigin jalkaluut menevät suoraan

Oman mallini jalat ovat varsin vankyrät, jos niitä katsoo edestä (ks kuvio 15). Ensin tein myös rigiluut mallin jalkojen mukaisiksi, mutta tällöin tuli ongelmia niiden kiertokulmien kanssa. Luut eivät enää kääntyneet haluttuun suuntaan, koska niitä oli jo käännetty toisiinsa nähden. Jalkaa ei esimerkiksi saanut taivutettua polven kohdalta suoraan, vaan luut lähtivät omille teilleen. Vaikka mallini jalat ovatkin kiemurat, halusin niiden silti taipuvan suorien jalkojen tavoin. Siispä tein rigiluut suoriksi, eli ne myötäilevät hevosen oikeaa luustoa vain sivulta katsottuna. Rigiluut saavat olla myös mallin ulkopuolella, kunhan tämän ottaa huomioon skinnauksessa ja säätelee luiden vaikutusalueen oikein.

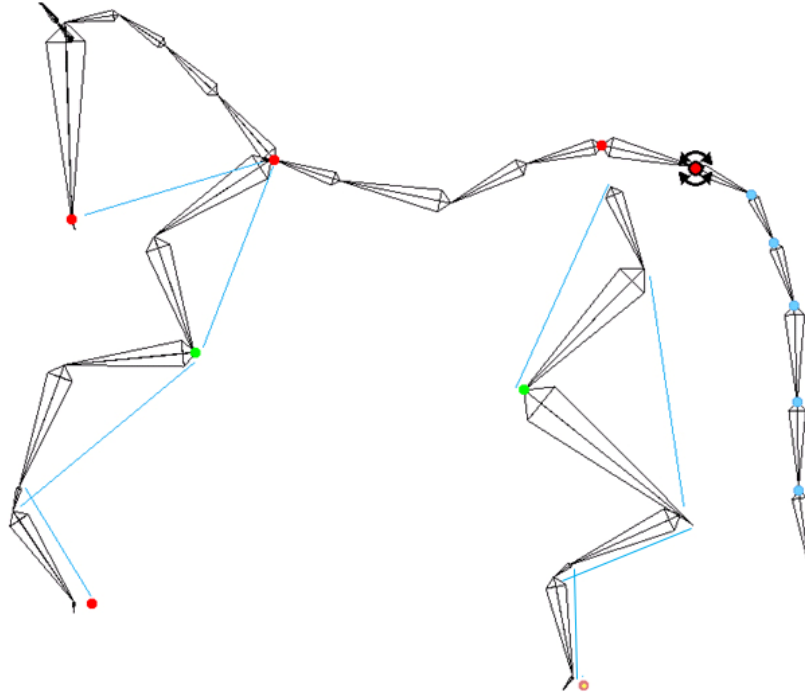
4.4.1 IK-ketjut

3D-rigit ovat aina tapauskohtaisia, joten jokaista tekniikkaa ei voi suoraan käyttää jokaisessa eri mallissa. On kuitenkin olemassa muutamia yleisesti käytettyjä tekniikoita, joita voi koettaa soveltaa omaan tilanteeseensa sopiviksi. Periaatteessa neli- ja kaksijalkaisten hahmojen etu- ja takajaloista (tai käsistä ja jaloista) löytyvät samat luut, mutta niiden mittasuhteet ja käyttötarkoitukset ovat erilaiset. Kaksijalkaisilla hahmoilla yleisesti käytetty metodi on rakentaa jalkoihin kolme IK-ketjua: lonkasta nilkkaan, nilkasta varpaiden alkuun ja varpaiden alusta jalan kärkeen. Kaksijalkaisten käsiin laitetaan yleensä vain yksi IK-ketju olkapäästä ranteeseen, mutta usein käsiä halutaan animoida joko pelkästään FK-ketjuilla tai FK-ketjun ja IK-ketjun yhdistelmällä. FK-ketju mahdollistaa jokaisen luun liikuttelun erikseen ja IK-ketjun avulla on helpompi todentaa esimerkiksi kävelyssä tapahtuvaa käsien heiluttelua. IK-ketjut eivät siis käsissä ole välttämättömiä. Tässä on olennainen ero kaksi- ja nelijalkaisten välillä: toisin kuin kädellisten hahmojen kädet, nelijalkaisten hahmojen etujalkoihin on aina rakennettava IK-ketjut. IK-ketjujen avulla jalat saa pidettyä kiinni maassa. Huomattavaa on, että hevosen polvi on ikään kuin vatsalinjan tasolla, siinä missä ihmisen polvi on keskellä näkyvää jalkaa. Nelijalkaiset hahmot yleensä myös näyttävät kävelevän varpaillaan, jos anatomiaa vertaa ihmisen anatomiaan.



Kuvio 16. IK-ketjujen hierarkia, vasen etu- ja takajalka. Ketju linkittyy hierarkkisesti ylhäältä alaspäin

Nelijalkaisen hahmon jalkojen IK-ketju on hyvin samanlainen kuin kaksijalkaisen jalassa: lavasta kyynärpäähän, kyynärpäältä nilkkaan, nilkasta kavion kärkeen (ks. kuvio 17). Lisäksi kuvassa näkyy kaulan IK-ketju, jonka päädyin hylkäämään. Tästä lisää pään ja kaulan omassa luvussa 4.4.4.

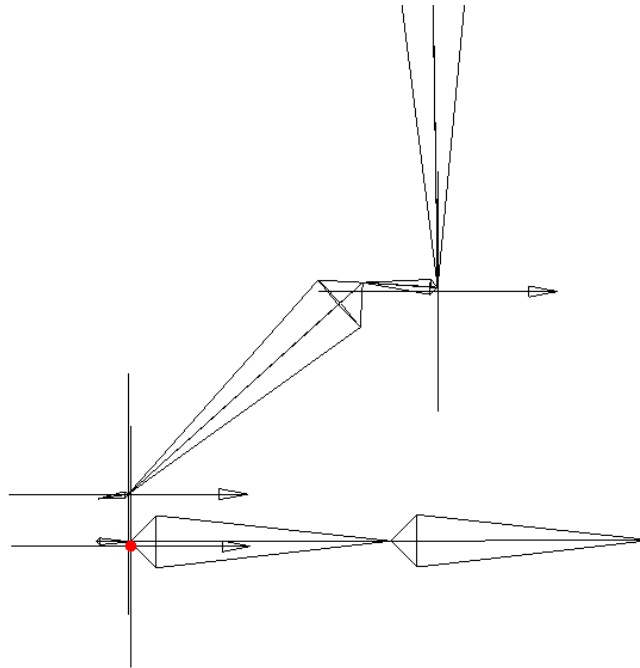


Kuvio 17. IK-ketjujen testailua, siniset viivat kuvantavat itse ketjuja

4.4.2 Reverse foot lock

Reverse foot lock on varsinaisten rigiluiden ulkopuolinen apuluusto, jonka avulla jalan IK-ketjujen liikuttelu helpottuu. Ilman reverse foot lockia IK-ketjuja pitäisi liikutella erikseen esimerkiksi nilkan ja kavion pään kontrollereista. Tämä järjestely yhdistää IK-ketjut yhden kontrollerin alle. Reverse Foot Lockin tekemiseen käytetään usein luita, koska niille tulee hierarkia automaattisesti.

Kun tarvittavat IK-ketjut on tehty, voidaan siirtyä apuluiden tekemiseen (ks. kuvio 18). Selvytyden vuoksi luut on tehty varsinaisen jalan alapuolelle. Tälle luuryhmälle on tehty kontrolleri, johon luut on parentoitu:

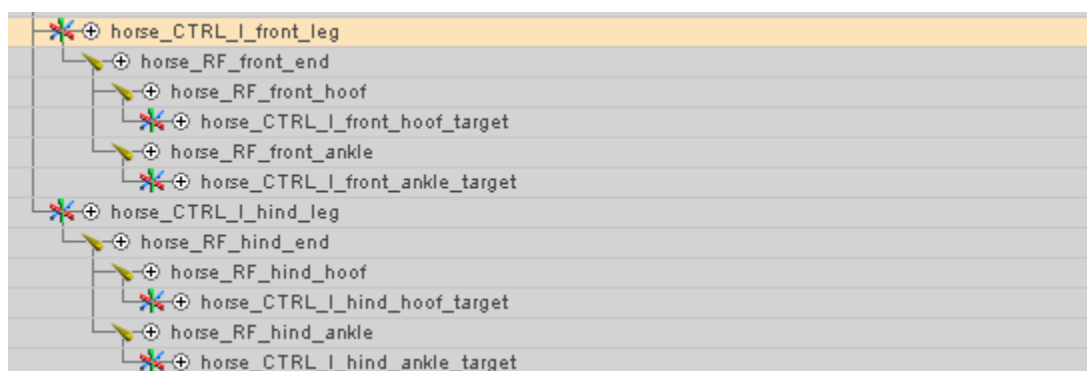


Kuvio 18. Jalkaluut, RFL:n apuluut (alhaalla) ja muutama apupiste. RFL piilotetaan lopullisesta rigistä



Kuvio 19. RFL:n luiden hierarkia, vasen etujalka. Luut rakentuvat kavionkärjestä kohti nilkkaa

Tämän jälkeen aiemmin tehtyjen jalkaterän IK-ketjujen targetit eli päätepisteet parentoidaan RFL:n apuluiden kanssa seuraavalla tavalla:

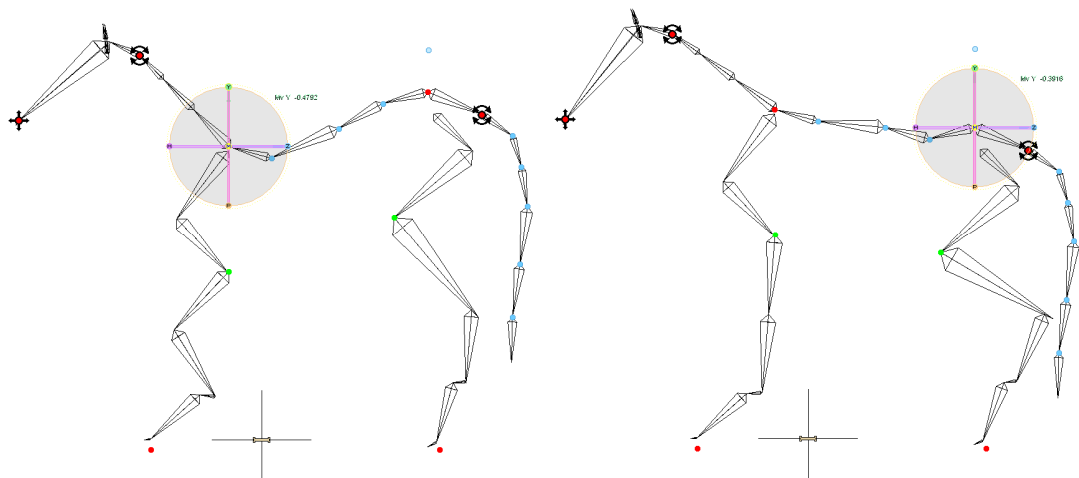


Kuvio 20. Reverse foot lockin hierarkia, vasen etu- ja takajalka

Oman rigini jalkojen liikuttelu tapahtuu siis siten, että kavion kärjessä olevasta kontrollerista jalka liikkuu kyynärpäähän asti. Kyynärpäässä on oma kontrolleri, jonka avulla sään ja lapaluun keskinäistä sijaintisuhdetta voi säätää.

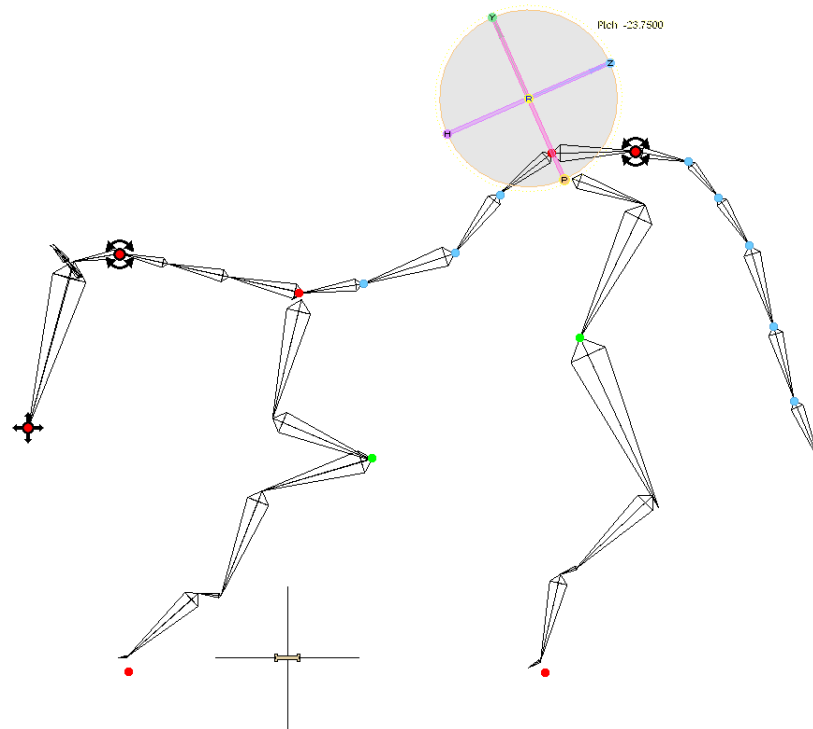
4.4.3 Selkäranka

Nelijalkaisen hahmon selkärigiiä rakentaessa on tärkeää, että etu- ja takaosaa voi liikutella erikseen. Esimerkiksi käynnissä säkä kohoaa ylös, kun lantio painuu alas ja päin vastoin. Siksi pelkästään lantiosta tapahtuva liikuttelu on työlästä, koska etuosan luita pitäisi liikuttaa erikseen. Jotta rigiluut eri osien liikuttelusta huolimatta pysyisivät kiinni toisissaan, muutin ne toimimaan lihasten lailla. Tämä sallii niiden venymisen. Periaatteessa etu- ja takavartaloa on tarkoitus liikuttaa vain sään ja lantion kontrollereista, mutta tein välikohtiinkin omat apukontrollerinsa, jotta mahdollisilta ongelmilta välttyttäisiin. Niiden avulla selkää voi myös esimerkiksi pyöristää tai laittaa notkolle.



Kuvio 21. Etu- ja takavartalolla on omat kontrollerinsa.

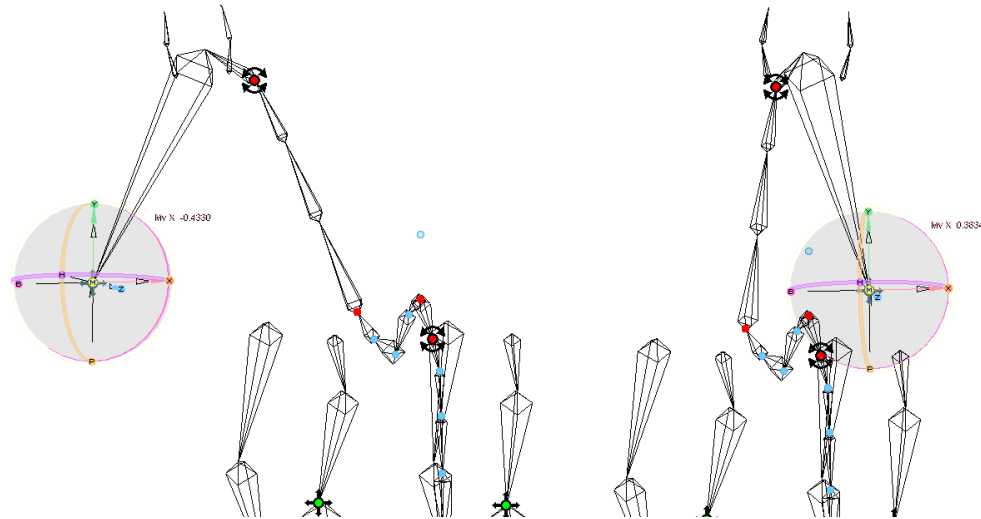
Näiden lisäksi tein erillisen yleiskontrollerin, jonka sijoitin lantion yläpuolelle (ks. kuvio 22). Tämä kontrolleri vaikuttaa kaikkeen muuhun paitsi jalkojen päätepisteisiin. Sen avulla hahmon saa helposti vaikkapa kumartamaan, ja kaviot pysyvät silti tiukasti maassa.



Kuvio 22. Lantion yläpuolelle sijoitettu yleiskontrolleri

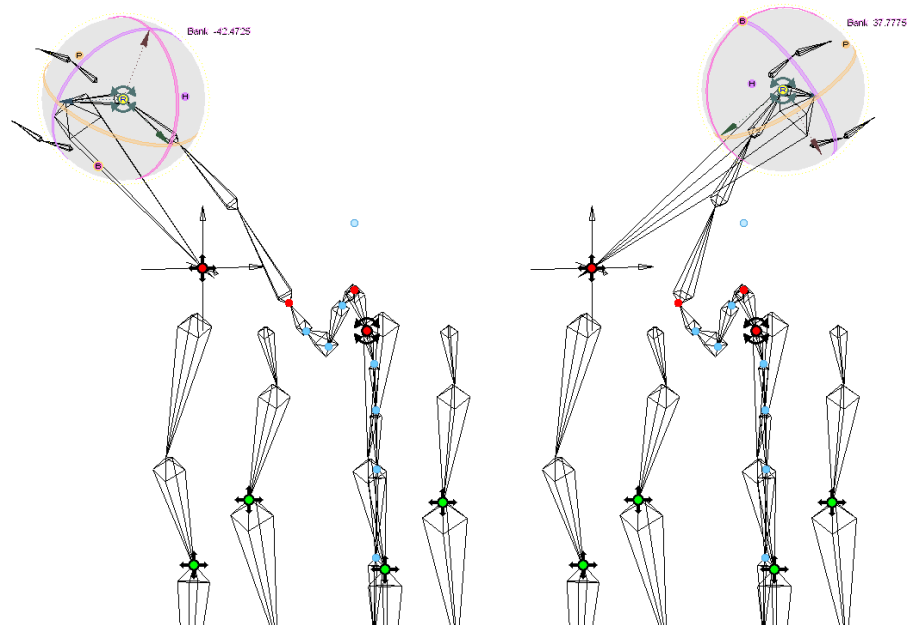
4.4.4 Pää, kaula ja leuka

Kaulan tekemiseen on monia eri vaihtoehtoja, joista esittelen tässä kaksi: IK-ketjun ja FK-ketjun. Ensimmäisenä kokeilin, miten yksi IK-ketju säästä turpaan toimisi. Esimerkkini ketjua kontrolloi turvassa sijaitseva liikuttelukontrolleri, joka sallii pään viemisen eteen, taakse, sivulle, ylös ja alas. Samalla kaula kääntyy, taipuu ja ojentuu mukana (ks. kuvio 23).



Kuvio 23. Päänliikuttelukontrolleri IK-ketjun kanssa

Ongelmaksi muodostui se, ettei IK-ketjua säätelevää kontrolleria voi käännellä, joten pään kääntelylle oli tehtävä oma kontrollerinsa. Koska IK-ketjun kontrolleri ei ole kääntelykontrollerin alaisuudessa, päätä käännetessä turpa pysyy paikoillaan (ks. kuvio 24).

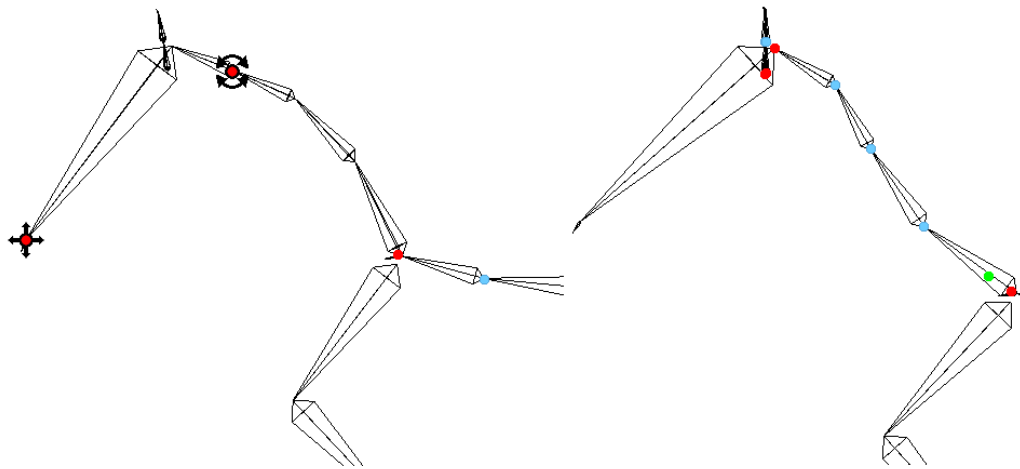


Kuvio 24. Päänkääntelykontrolleri IK-ketjun kanssa

Ongelmaksi muodostui se, ettei pelkkää päätä voi käännellä erikseen. Koska kääntelykontrolleri on IK-ketjun sisälle jäävissä luissa, se vaikuttaa pään lisäksi myös

kaulan luihin. Tämä on suuri puute, sillä animoijalle on aina annettava mahdollisimman paljon liikeratoja käytettäväksi. Riggaajan tehtävä on antaa animoijalle valmis paketti, jossa ei pitäisi joutua tekemään animaation tasoon tai kuvakäsikirjoituksen liikkeisiin vaikuttavia kompromisseja. Yksi vaihtoehto olisi ollut se, että päälle olisi rakentanut jaloissa käytetyn kaltaisen monen IK-ketjun ja apuluun RFL-menetelmän, mutta se tuntui liian monimutkaiselta ja tilanteeseen sopimattomalta.

Päädyin hylkäämään IK-ketjumenetelmän, koska se teki kaulasta pyöreän ja siten rikkoi sen alkuperäisen muodon (ks. kuvio 25). Lisäksi IK-ketju on aina paikasta A paikkaan B kulkeva suora eikä siihen liittyneitä luita voi manipuloida käsin. Aikaisemmassa esimerkissä yritin tehdä päälle omaa kääntelykontrolleria, mutta sellainen ei IK-ketjun sisällä onnistu. IK-ketju ei muutenkaan oikein toimi kaulan alueella, sillä vaikka se liikuttaa kaulaa muutamaan suuntaan ihan siivosti, muut suunnat jäävät kokonaan hyödyntämättä. Esimerkiksi hevosen täytyy tarvittaessa kyetä taittamaan kaulansa sivusuunnassa niin tiukalle mutkalle, että se yltää hampaillaan säkänsä.

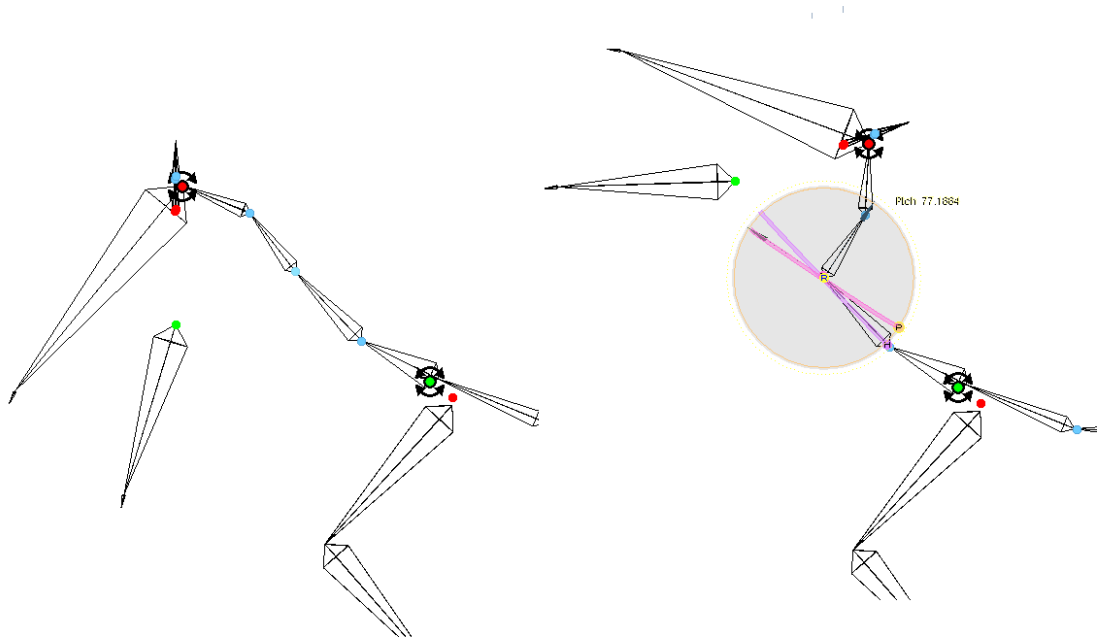


Kuvio 25. IK-ketjullinen kaula vasemmalla, FK-ketjullinen oikealla

Edellä mainituista syistä johtuen päädyin tekemään kaulaan samantyyppisen ratkaisun kuin selkärankaan, eli muunsin kaulaluut käyttäytymään lihasten tavoin. Selkärangassa oli tärkeää, että sään ja lantion kontrollerit liikuttavat perusmuotoa ja nikamien apukontrollereiden avulla vain avustetaan. Selän apukontrollerit eivät ole liittyneet toisiinsa hierarkkisesti, koska seuraavan ei tarvitse liikkua, kun ensimmäistä siirretään.

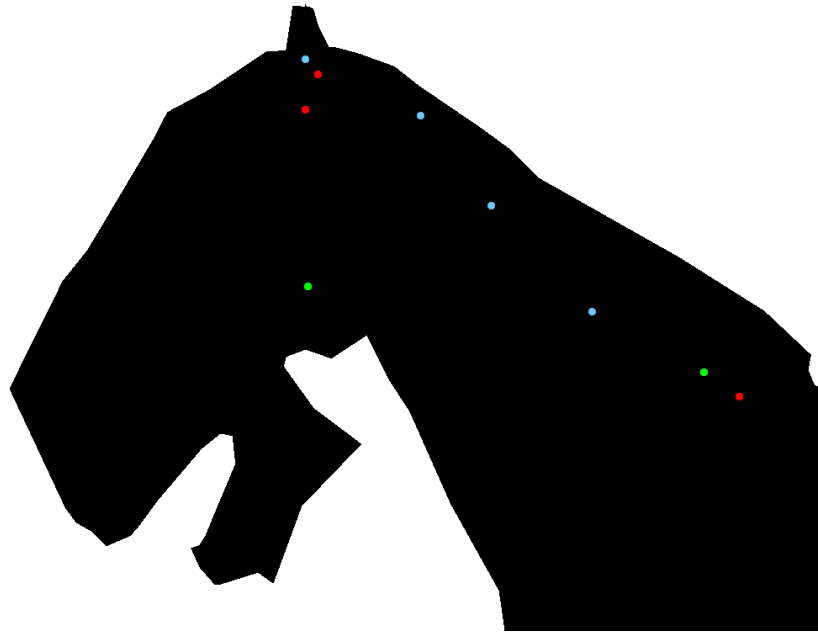
Kaulassa taas kannattaa hyödyntää FK-ketjumallia, eli parentoida nikamien apukontrollerit toisiinsa siten, että ne seuraavat toisiaan. Ylin isäntä on niskan alussa, seuraava kaulan ensimmäisen nikaman kohdalla ja niin edelleen, aina takaraivoon asti. Tällöin yhtä kontrolleria kiertäessä koko siitä jatkuva kaularakenne kiertyy mukana. Koska mallissani oli jo sään kohdalla etuvartaloa ohjaileva kontrolleri, tein selvyuden vuoksi kaulaa ja päätä ohjailevan kontrollerin vihreänä sen viereen.

Pään kääntely tapahtuu nyt takaraivon kontrollerista ja se onnistuu ilman, että niska seuraa kaarevasti mukana (ks. kuvio 26). Korvat on parentoitu päähän, joten vaikka ne eivät fyysisesti näytä olevan kiinni pääluussa, ne liikkuvat silti pään mukana. Korvilla on omat lyhykäiset FK-ketjunsä, joiden avulla niitä voi kierrellä ja käännellä. Korvan alaosaassa oleva punainen kontrolleri liikuttaa koko korvaa, keskiosassa oleva sininen puolestaan korvan yläosaa erikseen.



Kuvio 26. Leuka ja FK-ketjun toimintaa kaulassa

Leukaan tein yksinkertaisen rigiluun kontrollereineen. Kontrollerista leukaluuta voi siirrellä ja käännellä. Kääntely on varmaankin luontevin tapa animoida leuan liikettä, mutta en lukitse siirtelymahdollisuuttakaan. Täten animoijalle jää enemmän vaihtoehtoja selvittää mahdollisista pulmatilanteista.



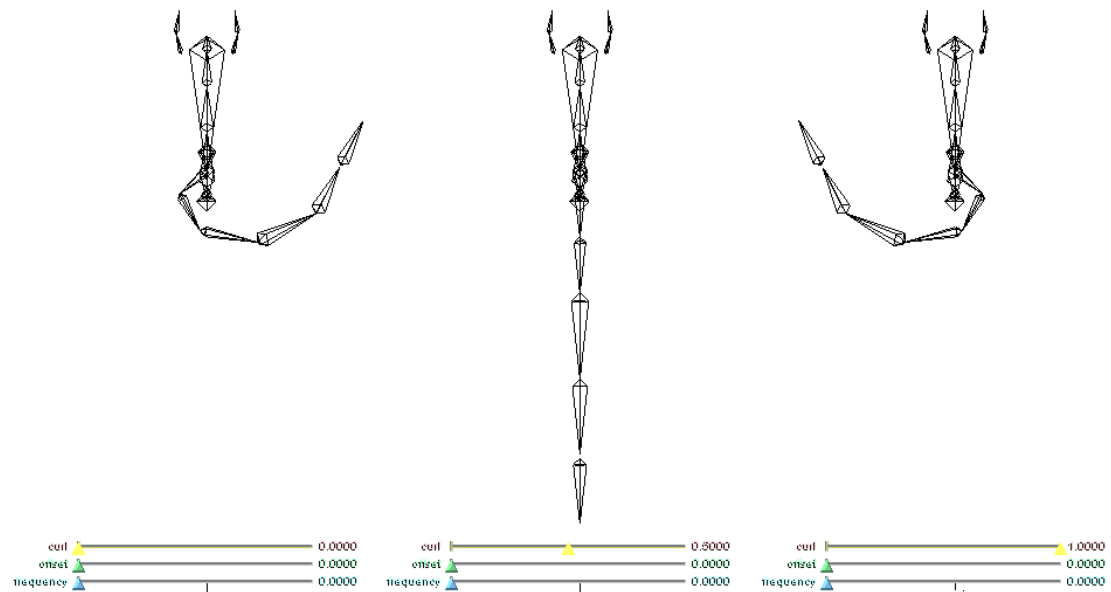
Kuvio 27. Pään ja kaulan yläosan kontrollipisteet mallin silhuettia vasten

4.4.5 Häntä



Kuvio 28. Häntää liikutteleva slider-kontrolleri. Kuvan mukaisilla asetuksilla häntä ei liiku

Häntään voi tehdä kaikennäköisiä ratkaisuja, jotka vaativat enemmän tai vähemmän koodinkirjoitustaitoa. Animoijalle haastavinta on pitkä FK-ketju, jossa hännän jokaista luuta täytyy liikuttaa erikseen. Tällä tavalla on hyvin vaikeaa ja aikaa vievää saada aikaan luontevaa liikettä. IK-ketju ei ole hyvä idea, koska hännän on taivuttava aaltomaisesti moneen suuntaan. Yksi kätevä tapa on tehdä koodi, jolla hännän loppupään rigiluut saa liikkumaan tietyllä tavalla, kun hännän ensimmäistä rigiluuta (tai sen kontrolleria) liikutetaan. Tällöin kaikkia luita ei tarvitse jokaisessa yhteydessä liikuttaa erikseen. Itse kuitenkin koodasin hevoselleni sliderin, jonka avulla sitä voi helposti kontrolloida. Tämä mahdollistaa luonnollisen näköisten hännänhuiskautusten simuloimisen animaatiossa.

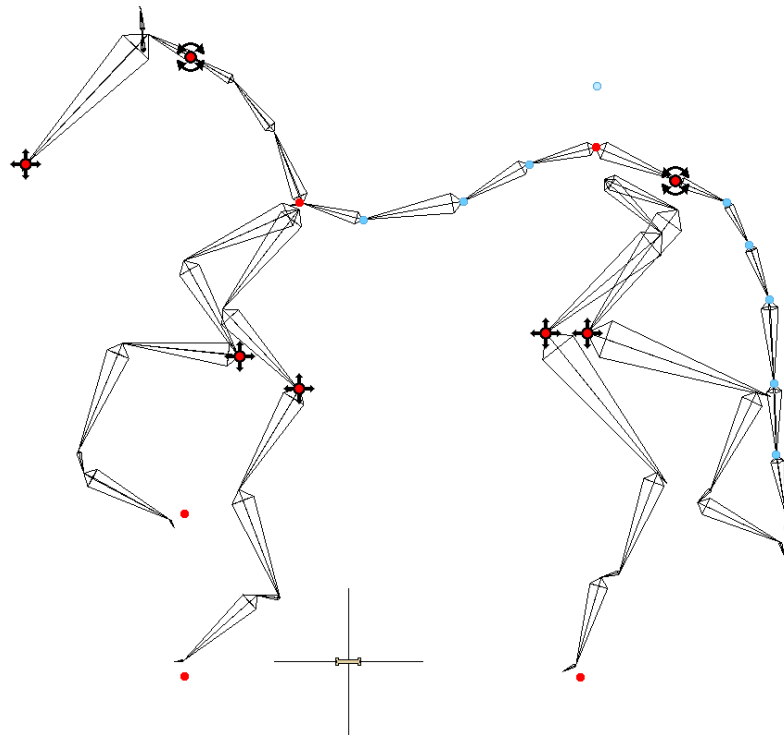


Kuvio 29. Hännän slider-kontrollerin curl-kohdan esittelyä (järjestyksessä 0, 0.5 ja 1)

Sliderissani on kolme kohtaa: curl, offset ja frequency. Curl kuvastaa sitä, kuinka tiukalle kaarelle häntä heilahtaa. Offsetin avulla saadaan eri luut liikkumaan hieman eri tahtiin, jolloin saadaan se aaltomainen vaikutelma, että edeltävä luu liikuttaa seuraavaa. Frequencylla saa hännän heilumaan tiuhempaan, i. nopeammin. Nämä automaatiot saa myös yhdistettyä käsipelillä tehtyyn animaatioon – esimerkiksi hännän juurta voi käsin kääntää ja slider toimii silti. Tämä mahdollistaa myös sen, ettei slideria ole pakko käyttää, jollei halua.

4.5 Kontrollerit

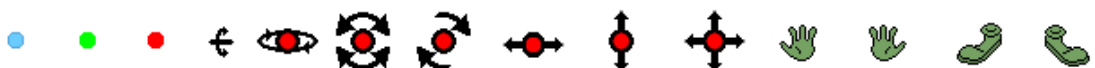
Kontrollereiden tarkoitus on tehdä rigistä helpommin käsiteltävä. Rigi tehdään, jotta mallin animoiminen olisi mahdollista, ja kontrolliobjektien avulla rigin liikuttelu on intuitiivisempaa. Varsinaiset rigiluut jäävät usein mallin sisään, joten niistä kiinni ottaminen on usein hankalaa. Kontrolliobjektit tehdään siten, että ne asetellaan luiden yhtymiskohtiin mallin ulkopuolelle, tai siten, että niihin pääsee muutoin helposti käsiksi. Esimerkiksi polven ympärille voi tehdä rinkulan, jota kääntelemällä rigiluut liikkuvat, jolloin mallin jalka taittuu polven kohdalta.



Kuvio 30. Kontrollipisteiden testailua

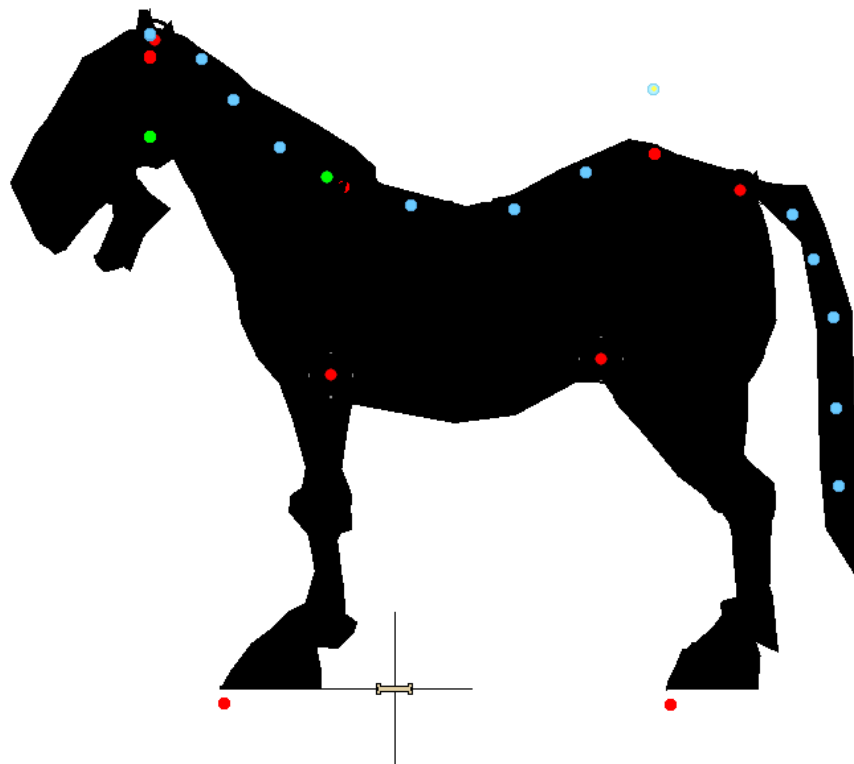
Animaatioita ei koskaan kannata tallentaa rigiluihin. Kun rigiluita liikutetaan kontrollereiden avulla, animaatio tallentuu automaattisesti niihin. Lisäksi on hyvä tehdä rigistä mahdollisimman vedenpitävä, eli sellainen, ettei animaattori sitä kovinkaan helposti saisi hajotettua. Siksi kontrollereista ym. on tehtävä selkeitä ja helposti ymmärrettäviä, ja esimerkiksi reverse foot lockin apuluut kannattaa piilottaa näkyvistä.

Kontrollereiden liikesuuntia ja kääntymiskulmia voi halutessaan rajata erilaisin koodein. Tämä omalta osaltaan estää rigin hajoamista animoitaessa. Rajoituksilla on tosin myös haittapuolensa, sillä ne saattavat tietyissä tapauksissa vaikeuttaa animaattorin työtä. Joskus rigin pieni manipuloiminen tekee liikkeestä sulavampaa tai jopa ehkäisee ongelmia. Joka tapauksessa kontrollereiden perusasennot on hyvä nollata. Tällöin perusasentoon on helppo päästä takaisin, vaikka kontrollereita liikuttaessa olisikin onnistunut rikkomaan jotain. Yksinkertaisin keino on koodata nollaus tapahtumaan silloin, kun controlleria klikkaa kaksi kertaa.














































Kuvio 31. Esimerkkejä kontrollereiden visuaalisista ilmeistä Messiah Studiassa

Halutessaan kontrollereille voi antaa myös visuaalisia ilmeitä, jotka kuvastavat sitä, millä tavoin niitä on tarkoitus käyttää. Tämä tekee rigin käyttöliittymästä entistäkin mukavamman käyttää. Mikäli ohjelmassa ei ole valmiita ikoneita tai rigin controllerit rakennetaan 3D-objektin mallin ulkopuolelle, nämäkin kannattaa visualisoida värein ja muodoin. Peruskontrollereihin käytin punaisia palloja. Niihin kohtiin, joita ei voi tai ei ole tarkoitus kuin kääntää tai siirtää (esim. turpa ja niska), laitoin rotaatiota tai translaatiota koskevat ikonit. Vapaaehtoisesti liikuteltavat controllerit (selässä ja hännässä) ovat väriltään sinisiä. Häntää voi halutessaan animoida FK-ketjun tapaan, mikäli automaattisliden käyttö ei tietyissä tilanteissa onnistu tai siihen pitää muuten tehdä muutoksia. Master-kontrolleri, eli koko hahmoa jalansijoja myöten liikutteleva ikoni on tässä tapauksessa luun muotoinen.



Kuvio 32. Kontrollipisteiden asemointi hevosmallissa

 HORSE_CTRL_MASTER
 horse_CTRL_l_front_leg
 horse_CTRL_l_front_hoof_target
 horse_CTRL_l_front_ankle_target
 horse_CTRL_r_front_leg
 horse_CTRL_r_front_hoof_target
 horse_CTRL_r_front_ankle_target
 horse_CTRL_l_hind_leg
 horse_CTRL_l_hind_hoof_target
 horse_CTRL_l_hind_ankle_target
 horse_CTRL_r_hind_leg
 horse_CTRL_r_hind_hoof_target
 horse_CTRL_r_hind_ankle_target
 horse_CTRL_hind
 horse_CTRL_pelvis
 horse_CTRL_l_hindlegs
 horse_CTRL_r_hindlegs
 horse_CTRL_l_hind_knee_target
 horse_CTRL_r_hind_knee_target
 horse_CTRL_tail
 horse_CTRL_tail_3
 horse_CTRL_tail_4
 horse_CTRL_tail_5
 horse_CTRL_tail_6
 horse_CTRL_tail_7
 horse_CTRL_spine_1
 horse_NULL_spine_1
 horse_CTRL_spine_2
 horse_NULL_spine_2
 horse_CTRL_front
 horse_CTRL_l_front_elbow_target
 horse_CTRL_r_front_elbow_target
 horse_CTRL_spine_3
 horse_NULL_spine_3
 horse_CTRL_l_frontlegs
 horse_CTRL_r_frontlegs
 horse_CTRL_neckhead
 horse_CTRL_neck_1
 horse_CTRL_neck_2
 horse_CTRL_neck_3
 horse_CTRL_head
 horse_CTRL_l_ear
 horse_CTRL_l_ear_2
 horse_CTRL_r_ear
 horse_CTRL_r_ear_2

Kuvio 33. Lista tässä rigissä käytetyistä kontrollereista

5 Ongelmat ja niiden ratkaisut

Ehkä suurimmaksi ongelmakseni koitui se, että ohjelma, jota riggaukseen käytin, oli minulle täysin uusi ja vieras. Messiah Studio aukeni minulle pikkuhiljaa opinnäytetyön kuluessa, joten varsinkin alkupäässä minulta kului paljon aikaa sinänsä yksinkertaisten asioiden tekemiseen. Loppuvaiheessa ohjelma alkoi olla jo tutumpi, joten osasin jo korjata alkupään mokia. Lisäksi erilaiset komennot eli scriptit alkoivat tuntua helpommin ymmärrettäviltä, kun niitä oli ensin käyttänyt useampaan otteeseen. Pelkkien tutoriaalien lukeminen tai edes videotutoriaalien katsominen ei vielä opeta mitään; asiaa täytyy kokeilla käytännössä, että sen todellisen toiminnallisuuden käsittää. Monissa ohjelmissa scriptejä ei ole tarpeen käyttää niin paljoa kuin Messiahissa – ja Messiahissakin monet kohdat olisi voinut hoitaa myös toisin. Esimerkiksi jalkojen IK-ketjut voi tehdä myös yksinkertaisemmin objekteja klikkailemalla, mutta siinä olisi ollut ongelmansa. Tällöin kaikki yhteen linkittyneet IK-ketjut olisivat toimineet samanaikaisesti, mikä taas ei nelijalkaisen hahmon jalassa oikein toimi. Koodinpätkällä IK-ketjut saa toimimaan peräjäälkeen, jolloin jalka taipuu luonnollisemmin.

Kuten aikaisemmassa luvussa todettua, koetin IK-ketjusysteemiä myös pää-kaula-akselille. Tämä voi joissain tapauksissa toimia ihan hyvin, ja olisi kaikesti toiminut pienellä säätämisellä myös omassa tapauksessani. Selänkin olisi kaikesti saanut toimimaan IK-ketju-järjestelyllä, mutta koin sen liian monimutkaiseksi ja epäselväksi. Pitkä lihasluuketju aiheutti myös erinäköisiä ongelmia, joissa luut liikuteltaessa lähtivät näennäisen mielivaltaisiin suuntiin. Tästä päästiin yli koodinpätkien ja parentointien järjestelmällisellä virheseulonalla.

Monien mielestä käsin animoiminen on joka tilanteessa suotavampaa kuin automaatioiden käyttäminen. Undo Oy:n työntekijöillä tuntui olevan yhteinen mielipide siitä, että automaatiot aiheuttavat usein vain ongelmia. Siksi onkin tärkeää, että hevosrigini häntää voi animoida myös käsin. Olen silti ylpeä siitä, että sain hännänheilutusautomatisoinnin toimimaan toivotulla tavalla – siitä huolimatta, ettei sitä välttämättä tulla käyttämään lainkaan. Pidettäköön myös tätä henkilökohtaisena haasteena ja esteen ylittämisenä.

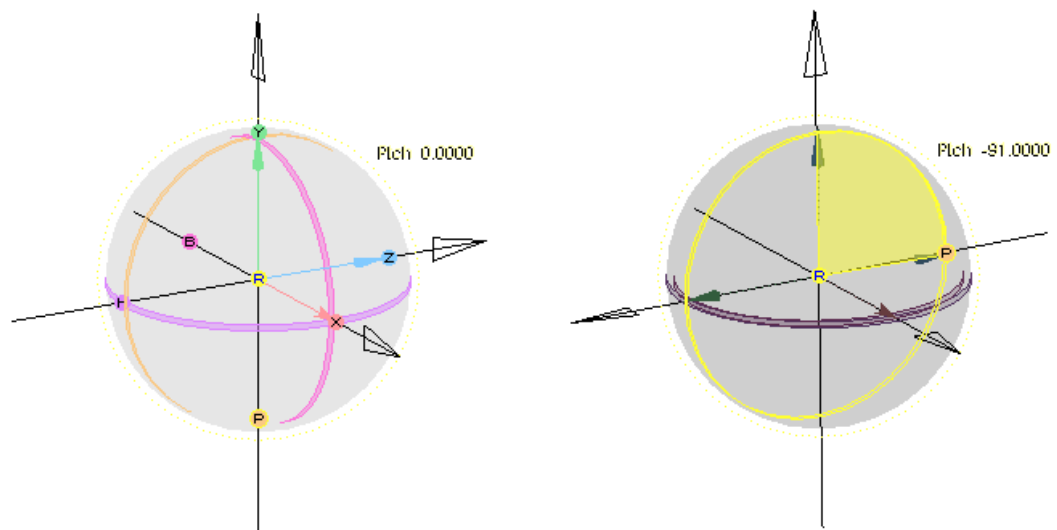


Kuvio 34. Lista tässä rigissä käytetyistä "komennoista", i. scripteistä

Yhtenä softarajat ylittävänä ongelmana voidaan pitää gimbal lockia. Sillä tarkoitetaan tilannetta, jossa kaksi kiertoakselia osoittaa samaan suuntaan. Toisin sanoen objekti ei pysty kääntelemään halutulla tavalla, ja se saattaa muutoinkin kiertyä kummallisesti. Tämä ongelma esiintyy kaikissa niissä ohjelmissa, jotka käyttävät 3D-maailman todentamiseen "Euler Angles" -nimistä matemaattista järjestelmää (Maya, Max, Softimage, Lightwave, Messiah Studio jne). Kaikessa yksinkertaisuudessaan ko. järjestelmä tarkoittaa sitä, että objekti voi käännellä kolmeen eri suuntaan (X,Y,Z), ja

näistä jokaista voi käyttää erikseen tietyssä järjestyksessä. Tämä kuulostaa sinänsä järkevältä, mutta se myös mahdollistaa gimbal lockin kaltaisten ongelmien syntymisen.

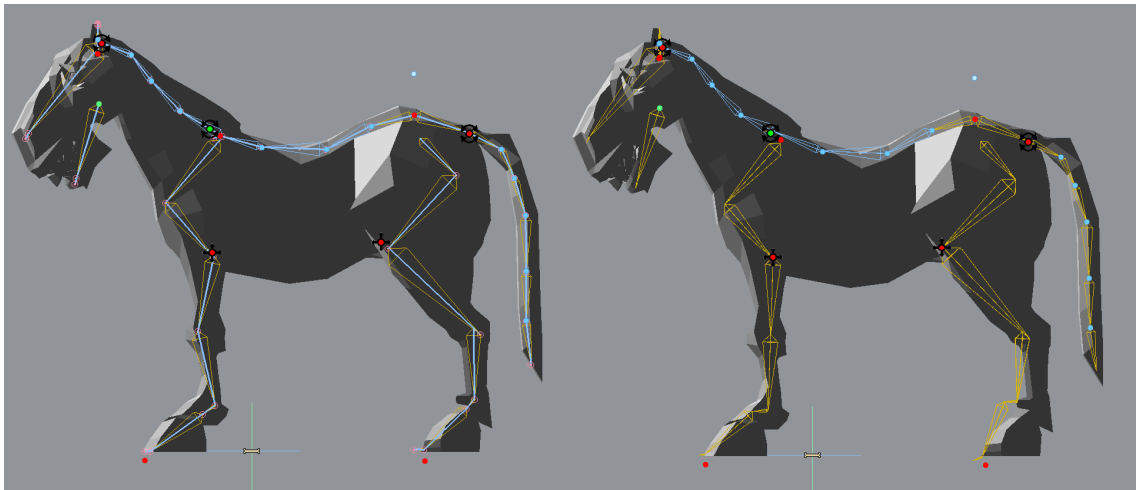
Euler-järjestelmässä ensin liikkuu X-akseli, sitten Y-akseli, ja lopuksi Z-akseli. Tämä tarkoittaa sitä, että objekti liikkuu käänneltäessä ensin X-, sitten Y- ja lopuksi Z-akselilla. Gimbal lock syntyy, kun objekti halutaankin esimerkiksi kiertää 90 astetta vain Y-akselilla. Koska järjestelmä on mielestään jo kääntänyt X-akselia, se ei käännä Y-akselin mukana vaan jää paikoilleen. Tämän jälkeen Y- ja X-akselit osoittavat samaan suuntaan (ks. kuvio 35). Liikkuvien akselien järjestystä voi muuttaa, mutta ongelma pysyy.



Kuvio 35. Kun Y-akselia käännetään 90 astetta, X- ja Y-akselit osoittavat samaan suuntaan ja syntyy gimbal lock.

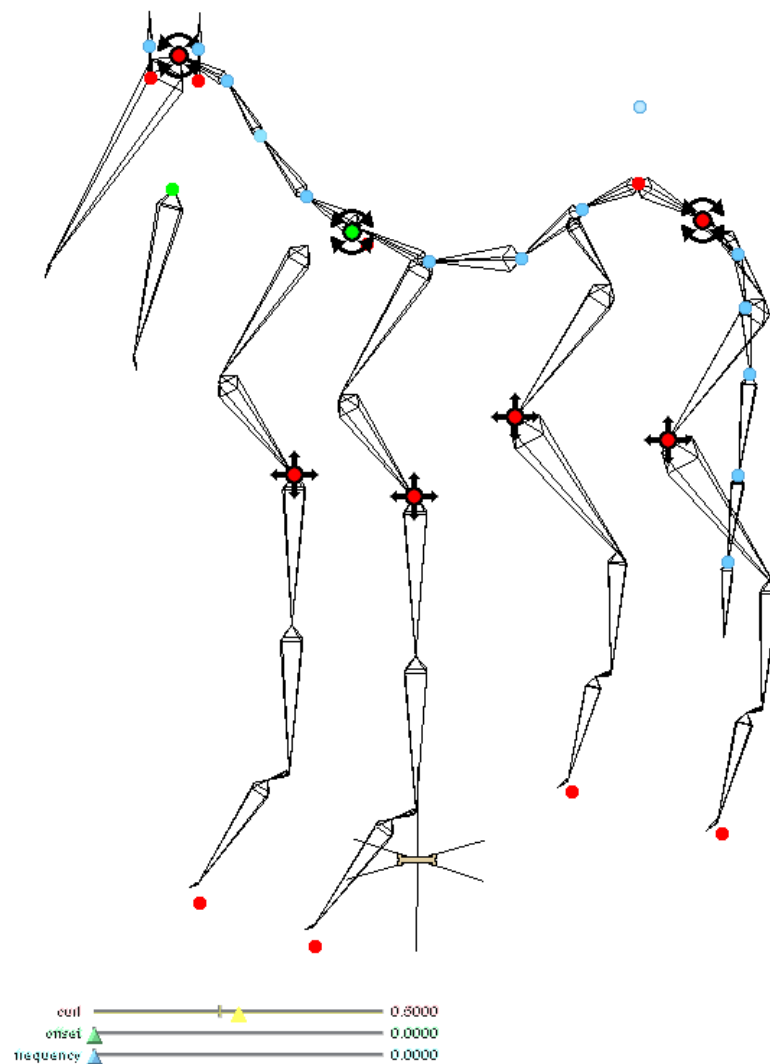
Kontrollereita tehdessä on hyvä varmistaa, että ko. kontrollerin koordinaatisto on suorassa. Monesti se esimerkiksi pitkissä luoketuissa parentoidaan johonkin aikaisempaan objektiin, jolloin sen koordinaatisto voi muuttua vahingossa isäntäobjektin koordinaatistiksi. Jos kontrollerin koordinaatisto on vinossa, gimbal lock voi tapahtua aiemmin ja tietysti juuri väärissä kohdissa. Ongelmaa voi lähestyä myös siltä kannalta, että jos objekti kuuluu kääntää vain esimerkiksi Y-akselissa, sen voi määrittää ensimmäisenä kiertyväksi akseliksi. Samoin jos objekti kuuluu kääntää vain esimerkiksi Y- ja Z-akseleissa, ne voi määrittää ensimmäisiksi ja jättää X-akselin viimeiseksi.

Yksi ongelma syntyi pitkistä IK-ketjuista, joita tarvittiin jalkojen mekaniikan toimimisen varmistamiseksi. Vaikka tein ne scriptaamalla, erityisesti takajalkojen luiden paikat muuttuivat varsin radikaalisti IK-ketjujen asettamisen jälkeen. Tämä johtuu siitä, että ketjut koettavat löytää lyhimmän mahdollisen reitin niiden kontrolloimien luiden välillä. Jos luiden hieman poikkeavan sijainnin ottaa huomioon skinnauksessa, tästä ei pitäisi koitua sen suurempaa haittaa lopullisessa, skinnatussa mallissa. Hieman samantyyppistä ongelmaa käsittelin kappaleessa 4.4, kun tein jalkojen rigiluut mallin jalkojen ulkopuolelle. Tällä sain kuriin luiden kiertämiseen liittyvät ongelmat, joita syntyi, jos rigiluut laittoi menemään täsmälleen mallin väänkräjalkojen mukaisesti. Nyt rigiluut menevät edestä katsottuna suoraan ylhäältä alas, kun taas mallin jalat mutkittelevat. Huolellisella skinnauksella ja luiden vaikutusalueita säätämällä rigi toimii hyvin, vaikka luut olisivatkin osin mallin ulkopuolella.



Kuvio 36. IK-ketjut muokkaavat takajalkojen luiden asentoa

6 Lopputulos ja loppupäätelmät



Kuvio 37. Lopullinen rigi

Tämän opinnäytetyön aikana perehdyin nelijalkaisten hahmojen anatomiaan ja mietin sitä, kuinka sen yksityiskohtainen tunteminen vaikuttaa riggaajan työhön. Loppujen lopuksi riggaaminen on luurangon tekemistä hahmolle, jolloin anatomiset seikat on lähes pakko ottaa huomioon. Hyvin sarjakuvamaisilla hahmoilla tämä ei ole niin tarkkaa, mutta varsinkin realismiin pyrkiviä malleja tehdessä on ensisijaisen tärkeää tietää, mitä pinnan alla tapahtuu. Anatomian tuntemus on erittäin tärkeää, kun riggaa minkäänlaisia eläviä hahmoja. On tiedettävä luuston ja lihaksiston perustoimintaperiaatteet ja se, miten mikäkin osa vaikuttaa mihinkin. Vasta sen jälkeen, kun alkuosa on hallussa, sitä voi lähteä muokkailemaan eteenpäin. Tärkeintä

on luoda uskottavia hahmoja, jotka periaatteessa voisivat elää, liikkua ja toimia meidänkin todellisuudessamme. Vaikka hahmo olisi mielikuvituksen tuotetta eikä sille siten löytyisi mitään suoraa anatomista vastiketta esimerkiksi eläinmaailmasta, sen rakenne hyvin todennäköisesti silti toimii eläinten tavoin. Tällöin voi yhdistellä eri luustorakenteita ja sillä tavoin päästä lähemmäs todellisen tuntuista liikeratoja. Anatomia itsessään ei riitä, vaan sen lisäksi täytyy ymmärtää, miten hahmot liikkuvat. Onko hahmo raskas, kevyt, pitkäjalkainen, pitkäselkäinen, käärmemäinen, elefanttimainen, vai onko sillä kenties siivet. Riggaajan täytyy kyetä tekemään kullekin hahmolle ominainen rigi, jonka avulla animaattori saa tehtyä kaikki tarvittavat asennot ja liikkeet. Rigiin voi halutessaan tehdä automatisointeja, mutta silloinkin ne on hyvä saada myös pois päältä. Jotkut animaattorit tekevät mieluummin kaiken käsin, ja monissa yhteyksissä se onkin kaikkein järkevintä. Automatisointeja olennaisempi osa rigissä ovat erilaiset linkitykset ja koodailut, joiden avulla rigiluut saadaan liikkumaan tiettyjen kontrollereiden avulla tietyllä tavalla. Näihin kuuluvat mm. IK- ja FK-ketjut sekä reverse foot lock, jotka helpottavat huomattavasti rigin käsittelyä.

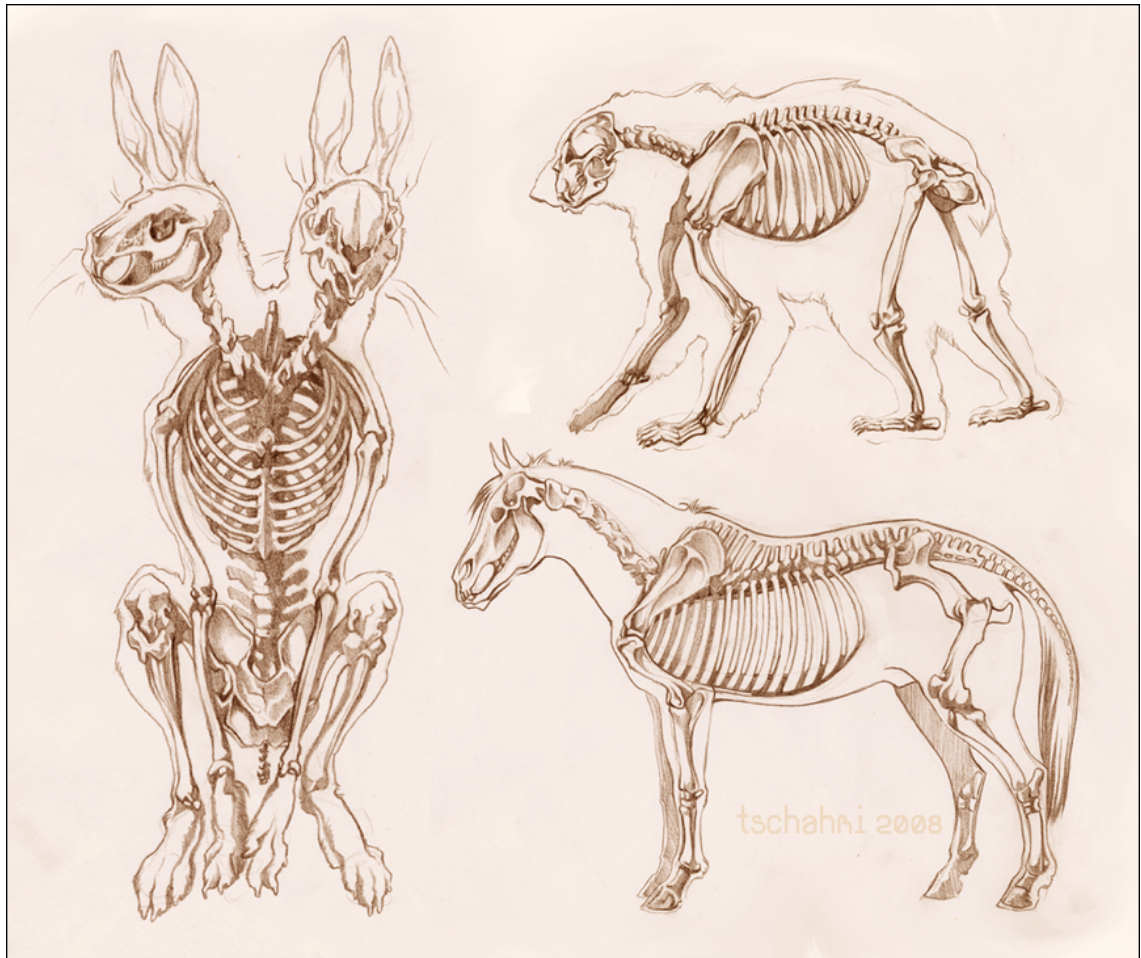
Toimivan rigin lisäksi myös sen selkeys on ensisijaisen tärkeää. Rigi saattaa päätyä monien ulkopuolisten ihmisten animoitavaksi, jolloin heidän täytyy kyetä yhdellä silmäyksellä ymmärtämään, mikä kontrolleri liikuttaa mitäkin osaa kehosta ja millä tavoin. Rigin käyttöliittymä on rakennettava käyttäjäystävälliseksi ja helppolukuiseksi, eikä siihen saa jättää näkyviin mitään ylimääräistä. Kaikki ne objektit, joiden liikuttaminen tai kääntely tuhoaa rigin, täytyy piilottaa tai lukita paikoilleen. Joskus tosin on hyvä jättää animoijalle vähän liikkumavaraa, jolloin tämä voi vaikeissa liikkeissä vähän muovailla rigiä. Tällöinkin rigiin täytyy tehdä toiminto, jolla sen saa palautettua alkuperäiseen muotoonsa.

Lopullinen esimerkkirigi rakentuu siten, että siinä on master-kontrolleri, jolla voi liikutella koko hahmoa. Lisäksi jokaisella jalalla on kaksi kontrolleria, toinen kavion kärjessä ja toinen etujaloissa kyynärpäissä ja takajaloissa polvissa. Ensimmäisestä voi liikutella ja käännellä jalkaa kaviosta käsin aina kyynärpäähän/polveen asti, ja jokainen taitekohta taipuu oikeaan suuntaan. Ylemmästä kontrollerista taas voi korjailla kyynärpään sijaintia suhteessa säkään/lantioon ja jalan alaosaan. Kehon etu- ja takapäätä voi liikutella ja käännellä erikseen siten, että jalat pysyvät kiinni maassa. Lantion yläpuolella on myös sellainen kontrolleri, joka liikuttelee koko kehoa lantiosta

lähtien; tämä mahdollistaa esimerkiksi pystyyn kavahtamisen. Jalat pysyvät tässäkin tapauksessa maassa. Selkärankaa voi myös liikutella sinisten apukontrollereiden avulla, mikäli kokee sen tarpeelliseksi. Hännän jokaista luuta voi kiertää erikseen, ja liikuteltavan luun jälkeläiset kiertyvät mukana. Häntää voi kuitenkin halutessaan animoida kolmen sliderin avulla, jolloin luontevan oloinen huiskautus syntyy käden käänteessä. Automatisointi toimii myös siinä tapauksessa, että jotakin hännän luista on käännetty toiseen asentoon. Kaula toimii FK-ketjun tavoin, eli isäntäobjektia kääntämällä sen jälkeläiset seuraavat. Selvyiden vuoksi koko kaula-pää-aluetta kääntelevä kontrolleri on merkitty vihreällä kiertoikonilla. Takaraivossa oleva punainen kontrolleri säätelee pään ja siten myös korvien rotaatiota. Korvia voi käännellä niiden tyvistä ja taittaa puolivälissä olevista sinisistä apukontrollereista. Leukaa voi käännellä ja liikutella leukaluun juuressa olevasta vihreästä kontrollerista.

Tämä opinnäytetyö opetti minulle paljon. Olen aina ollut painottunut enemmänkin visuaalisiin kuin tekniisiin lajeihin, joten pelkästään riggaukseen keskittyvä opinnäytetyö oli toden totta henkilökohtainen haaste. Mutta mitä kauemmas omista mukavuusalueistaan lähtee, sitä suurempaa tyydytystä saa siitä, että huomaa tajuavansa jostain jotain ja ymmärtävänsä, miten asiat toimivat. Välillä iski suoranainen epätoivo, kun seikkaili erilaisten skriptien, attribuuttien ja muiden teknisten vipujen ja vipstaakkeleiden viidakossa, mutta jossain vaiheessa palaset vain lokahtelivat paikoilleen. Siinä vaiheessa, kun huomasi kirjoittavansa koodinpätkiä käsin suoraan omasta muististaan, huomasi oppineensa todella paljon. Riggaaminen on hyvin loogista työtä, mutta kunkin osasen logiikka toimii hieman eri tavalla. Lisäksi eri toimintojen nimet vaihtelevat eri ohjelmien välillä, joten uuteen riggausohjelmaan hyppääminen on välillä vähän hakuammuntaa.

Olen saavuttanut ne tavoitteet, jotka asetin itselleni opinnäytetyön tekemistä aloittaessani. Sain aikaiseksi toimivan rigin, vaikka minulla ei ollut juurikaan aiempaa riggaamisosaamista enkä ollut aiemmin käyttänyt Messiah Studiota. Nelijalkaisten hahmojen riggaamiseen keskittyviä opinnäytetöitä tai suomenkielisiä tutoriaaleja ei juurikaan ole, joten toivon havainnoistani ja tutkimuksistani olevan apua lukijoille muissa vastaavanlaisissa projekteissa. Lisäksi toivon esimerkkirigini pääsevän tulevaisuudessa mukaan Undo Oy:n animaatioasarja Ghost Towniin, johon se alunperin tilattiin. Sitä ennen se toki on vielä skinnattava.



Kuvio 38. Luustomalleja (Inkeri 2008)

Lähteet

Dittrich, Hermann 1925. Veterinary Anatomical Illustrations [verkkodokumentti] <<http://uwdc.library.wisc.edu/collections/Science/VetAnatImgs>> (luettu 2.4.2012)

Dr. Jill's Chiropractic Care Center 2012. Biology Teaching Resources [verkkodokumentti] <<http://www.drjill-dc.com/equine.html>> (luettu 5.2.2012)

Inkeri, Emiel 2008. Axial bifurcation [verkkodokumentti]
<<http://tschahri.deviantart.com/art/Axial-bifurcation-83472538>> (luettu 10.11.2011)

Granström, Jaakko, Johansson, Olli-Pekka, Laiho, Jouni & Skarra, Petra 2011. Hevosen kengitys. Tampere: Painopaikka Juvenes Print Tampereen yliopistopaino Oy.

Kaimio, Tuire 2004. Hevosen kanssa. Porvoo: Painopaikka WS Bookwell Oy.

Maugh II, Thomas H. 3.12.2005. Scientist Vindicated: Bees can fly; here's how [verkkodokumentti] <<http://articles.latimes.com/2005/dec/03/science/sci-bees3>> (luettu 28.2.2012)

Mackean, D.G. 2004, Biology Teaching Resources [verkkodokumentti]
<<http://www.biology-resources.com/drawing-bird-skeleton.html>> (luettu 15.2.2012)

Science Daily 12.2.2010. Are High Speed Elephants Running or Walking? [verkkodokumentti]
<<http://www.sciencedaily.com/releases/2010/02/100212092308.htm>> (luettu 14.2.2012)

Tieteen kuvalehti 15/2005. Eläin askeltaa käytännöllisesti. [verkkodokumentti] <<http://tieku.fi/kysy-meilta/elain-askeltaa-kaytannollisesti>> (luettu 23.5.2012)

Wikipedia 2011. Anatomy and Physiology of Animals/The Skeleton [verkkodokumentti]
<http://en.wikibooks.org/wiki/Anatomy_and_Physiology_of_Animals/The_Skeleton> (luettu 28.1.2012)

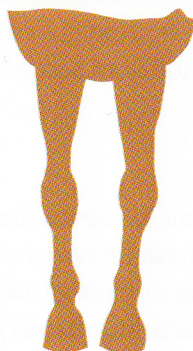
Williams, Richard 2009. Animating horse walk cycle [verkkodokumentti]
<<http://www.youtube.com/watch?v=INQx-Lzs8mU>> (luettu 28.11.2011)

Esimerkkejä nelijalkaisen hahmon jalka-asennoista

JALKA-ASENNOT



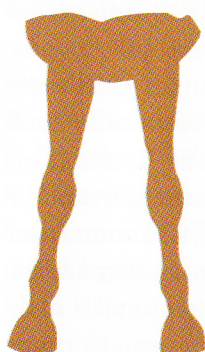
Suorat, virheettömät
etujalkojen asennot.



Länkinen.



Pihtinen.



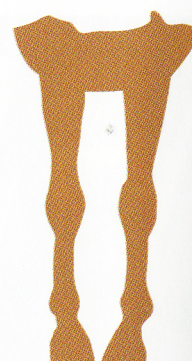
Hajajalkainen.



Suppujalkainen.



Hajavarpainen.



Suppuvarpainen.



Suorat, virheettömät
takajalkojen asennot.



Länkinen.



Pihtinen.

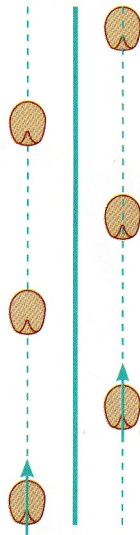
(Granström ym 2011, 64)

Nelijalkaisen hahmon jalkojen liikeradat

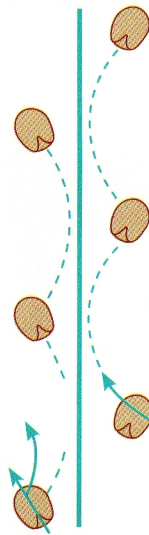
Tämän liitteen kuvassa näkyy nelijalkaisen hahmon jalkojen liikeradat eteenpäin suuntautuvassa liikkeessä. Liikeradat muuttuvat esimerkiksi siinä tilanteessa, jos hahmo on haja- tai suippuvarpainen. Hahmoon saa lisää syvyyttä, jos sen liikkumistapaan kiinnittää huomiota jo mallinnusvaiheessa.

Liikeradat

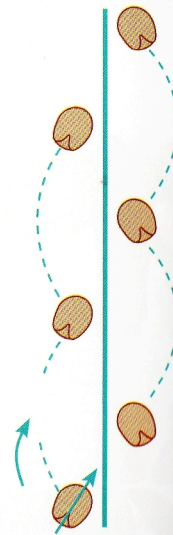
Säännöllinen varvasasento ja suora liikerata.



Hajavarpainen jalka-asento: tyypillinen etupolveen lyövä ja kerivä askel.



Suppuvarpainen jalka-asento ja melova liike.



(Granström ym 2011, 66)